



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA**

JOSÉ EURIPIDES BAQUERO PEÑUELA

**ALTERAÇÕES QUÍMICAS, FÍSICAS E BIOLÓGICAS DE
LATOSSOLOS VERMELHOS COM CANA-DE-AÇÚCAR**

Londrina
2009

JOSÉ EURIPIDES BAQUERO PEÑUELA

**ALTERAÇÕES QUÍMICAS, FÍSICAS E BIOLÓGICAS DE
LATOSSOLOS VERMELHOS COM CANA-DE-AÇÚCAR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Agronomia da Universidade Estadual de
Londrina, como requisito parcial à obtenção do
título de Mestre em Agronomia.

Orientadora: Profa. Dra. Maria de Fátima
Guimarães

Co-Orientador: Prof. Dr. Ricardo Ralisch

Londrina
2009

Catálogo na publicação elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da Universidade Estadual de Londrina.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

B344a Baquero Peñuela, Jose Euripides.

Alterações químicas, físicas e biológicas de Latossolos Vermelhos com cana-de-açúcar / Jose Euripides Baquero Peñuela. – Londrina, 2009.

153 f. : il.

Orientador: Maria de Fátima Guimarães.

Co-orientador: Ricardo Ralisch.

Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2009.

Inclui bibliografia.

1. Solos – Estrutura – Avaliação – Teses. 2. Cana-de-açúcar – Monocultivo – Teses. 3. Físico-química do solo – Teses. 4. Ecologia microbiana – Teses. I. Guimarães, Maria de Fátima. II. Ralisch, Ricardo. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 631.4

JOSÉ EURIPIDES BAQUERO PEÑUELA

**ALTERAÇÕES QUÍMICAS, FÍSICAS E BIOLÓGICAS DE
LATOSSOLOS VERMELHOS COM CANA-DE-AÇÚCAR**

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria de Fátima Guimarães
Orientadora - UEL

Dra. Diva de Souza Andrade
IAPAR

Dr. Augusto Guilherme de Araújo
IAPAR

Profa. Dra. Cristiane de Conti Medina
UEL

Prof. Dr. João Tavares Filho
UEL

Prof. Dr. Osmar Rodrigues Brito (suplente)
UEL

Dra. Graziela Moraes Cesario Barbosa (suplente)
IAPAR

Londrina, 26 de Fevereiro de 2009.

OFEREÇO

A DEUS, pela nossa existência perto dos seres amados.

DEDICATÓRIA

À minha esposa Ana Cristina, amiga fiel e confidente em todos os momentos da minha existência.

Aos meus filhos Harold e Jose Eduardo pela ajuda recebida quando mais precisei.

À minha filha Anamaria, com quem compartilhei, de perto, dúvidas, angústias, alegrias e conhecimentos.

AGRADECIMENTOS

À Corporação Colombiana de Investigación Agropecuária, CORPOICA C.I. La Libertad, em especial ao seu Diretor Engenheiro Jaime José Triana Restrepo, pela sua confiança e apoio na realização dos meus estudos de Pós-Graduação;

À Colciencias pela bolsa concedida;

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina pela oportunidade de crescimento tanto pessoal quanto profissional, assim como de aperfeiçoamento dos meus conhecimentos;

À Professora Doutora Maria de Fátima Guimarães, pela sua confiança, paciência e real dedicação no acompanhamento da minha orientação. Sou muito grato pela sua valiosa amizade e companheirismo durante a estada no curso de Pós-Graduação, momentos que levarei para sempre em minha vida;

Ao co-orientador, Professor Doutor Ricardo Ralisch, pelos seus ensinamentos e amizade oferecida no decorrer do tempo de estada;

Ao Professor Doutor Marco Antônio Nogueira, pelo apoio e assessoria na utilização do laboratório de Ecologia Microbiana, além da sua sincera amizade;

Aos professores Angel Rosales Valdez da Universidad de Holguín, Cuba e, Cristiane de Conti Medina, João Tavares Filho, Maria Inês Fonseca e Osvaldo Coelho Pereira Neto da UEL pela participação ativa no desenvolvimento da pesquisa;

À Cooperativa de Produtores de Rolândia, COROL, especialmente ao Engenheiro Agrônomo Valdecir Veronez, pela concessão do campo de experimentação e pelo auxílio nas amostragens realizadas;

Aos funcionários da Fazenda Escola, aos membros do serviço de transportes da UEL e aos estagiários do Centro de Ciências Agrárias e do Centro de Ciências Biológicas da UEL pela ajuda nas avaliações de campo e laboratório;

Aos Professores Doutores Osmar Rodrigues Brito, Amarildo Pasini, Otávio Jorge Grigoli Abi Saab, Carmen Silvia Vieira Janeiro Neves, Pedro Manuel O. J. Neves, Pedro Rodolfo Siqueira Vendrame, Galdino Andrade, pelo incentivo em todos os momentos e pela companhia oferecida durante o transcurso e realização do meu programa de estudos;

Aos meus companheiros de turma Nagib, Pedro, Luis Arthur, Adriano, Alfredo, Diogo, Paulo e Sinval, e à Doutora Lisa Tapiero de LASPAU, não só pela companhia, mas pela fraternidade iniciada no período de Pós-Graduação, amizade que vai perdurar sem importar a distância;

Aos meus companheiros de Corpoica pelo estímulo e apoio solidário em todos os momentos.

BAQUERO, J. E. **Alterações químicas, físicas e biológicas de Latossolos Vermelhos com cana-de-açúcar.** 2009. 159f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

RESUMO

A cana-de-açúcar é atualmente uma das culturas de maior importância econômica e social no Brasil, com vistas à produção de açúcar e obtenção de energia alternativa que possa diminuir a dependência de fontes de energia não renováveis e mais poluentes como o petróleo. Existem evidências que mostram que o cultivo contínuo com cana-de-açúcar altera o equilíbrio químico, físico e biológico do solo, com resultados que nem sempre conduzem à melhoria destes atributos para uma adequada produtividade da cultura. O objetivo deste trabalho foi avaliar as mudanças nos atributos químicos, nos aspectos morfológicos e estruturais do solo e sua interação com atributos físicos e crescimento de raízes e alguns atributos microbiológicos relacionados ao carbono, em dois Latossolos Vermelhos plantados com cana-de-açúcar em diferentes períodos de uso. Foram amostradas áreas sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar, em Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) A moderado muito argiloso com 1, 3, 8, 10 e 16 cortes e Latossolo Vermelho distrófico (LVd) A moderado textura média com 1, 2, 3, 6 e 7 cortes, e áreas sob vegetação nativa, em cada solo. Os resultados permitiram observar mudanças entre a vegetação nativa e a cultura de cana-de-açúcar, caracterizadas pela diminuição no carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT), por efeito do desmatamento nas duas classes de solo. No LVef, foi observado decréscimo para bases trocáveis, CTC, Fe, Cu e Zn e incrementos da acidez do solo, decorrente do tempo de cultivo. Pelo contrário, no LVd o tempo de cultivo incrementou bases trocáveis, CTC, saturação de bases, P e Mn, acidez do solo, e diminuiu Fe, Cu, e B, principalmente na camada de 0,0-0,10 m. Em geral, foi encontrada diminuição da fertilidade química no solo eutroférico e aumento desta no distrófico, pela ação das práticas culturais efetuadas na cultura. O tempo de cultivo proporcionou volumes de solo com altos valores de resistência à penetração (RP), altos valores de densidade do solo (Ds) e baixos valores de macroporosidade, nos dois solos, que, embora restringissem não impediram o crescimento radicular da cultura, devido à grande heterogeneidade estrutural nos perfis, que possibilitaram a presença de raízes em camadas sub-superficiais podendo influir na regeneração estrutural destas. O método do perfil cultural permitiu uma descrição morfológica espacializada das estruturas e uma melhor compreensão dos efeitos da compactação no desenvolvimento radicular, indicando que é uma ferramenta metodológica de grande importância no estudo dos solos. Houve diminuição nos atributos microbiológicos relacionados ao carbono do solo, com a mudança da vegetação nativa para o cultivo de cana-de-açúcar, nos dois solos avaliados. O tempo de cultivo proporcionou incrementos de CO, carbono lábil (CL), quociente metabólico (qCO_2) nos dois solos, e de respiração basal no LVef, indicando um possível novo equilíbrio dos atributos relacionados ao ciclo do C. A biomassa microbiana mostrou-se sensível à conversão de vegetação nativa para cultivo; porém, novos equilíbrios estão em curso nas áreas com mais tempo de cultivo.

Palavras-chave: *Saccharum* spp. Biomassa microbiana. Cana queimada. Compactação. Monocultivo.

BAQUERO, J. E. **Chemical, physical and biological changes in Oxisols with sugar cane.** 2009. 159p. Thesis (Doctorate in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

ABSTRACT

The sugar cane is, at the present days, one of the most energetically and socially important crops in Brazil, due to the production of sugar and obtainment of alternative energy witch can reduce the dependence of non-renewable sources of energy and more pollutant such as oil. There are evidence about how the practices of sugar cane crop alters the physical, chemical, and biological equilibrium of soil, with results that may not lead to improvements in the conditions of these attribute for a better crop productivity. The objective of this research was to evaluate the changes in the chemical attributes of soil, morphological and structural aspects and its interaction with physical attributes, root growing and some microbiological attributes related to the carbon in two Oxisols cultivated with sugar cane in different periods of use. There were sampled areas under continued cultivation of sugar cane, in a Rhodic Eutrudox very clayey texture, with 1, 3, 8, 10 and 16 slashes and in a Rhodic Hapludox medium texture (LVd), with 1, 2, 3, 6 and 7 slashes compared with area under native vegetation, in each type of soil. The results allowed observing important changes between the native vegetation and the sugar cane crop, characterized by the reduction of organic carbon (OC) and total nitrogen (TN), due to the deforestation in both classes of soils. In the LVef, it was observed a reduction is the exchangeable bases, CEC, Fe, Cu e Zn and increasing of soil acidity, due to the time of cultivation. On the other hand, In LVd the time of cultivation increased the exchangeable bases, the CEC, the bases saturation, P, Mn and reduced Fe, Cu and B, mainly in the 0,0-0,10m layer with increasing of soil acidity. Generally, a reduction in Eutrudox soil fertility and an increase in Hapludox soil fertility were found, due to the crop techniques used along the time. The cultivation time provided compacted layers with high penetration resistance (PR) values, soil density (SD) and low macroporosity, in both soils, witch were not impediment to the root growing of the crop, due to the large structural heterogeneity in the profiles, that enabled the presence of roots in sub-superficial layers, witch could influence in its structural regeneration. The crop profile method allowed a spatial morphological description of the structures and a better comprehension of the effects of compacting in root development, indicating that is a methodological tool witch has large importance in soil study. There was a reduction in all microbiological attributes, related to soil carbon, with the change of native vegetation to sugar cane cultivation in both evaluated soils. The cultivation time provided increases of OC, labile carbon (LC), metabolic quotient (qCO_2) in both soils, and of basal respiration in LVef, indicating a possible new equilibrium of the attributes related to the carbon cycle. The Microbial biomass showed to be sensitive to the changes from native vegetation to the crop, yet new equilibrium is in course in the areas with more cultivation time.

Keywords: *Saccharum* spp. Burning cane. Compaction. Long-term monoculture. Microbial biomass.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR	14
2.2 EFEITO DO MONOCULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	15
2.3 EFEITO DO MONOCULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	23
2.3.1 Efeitos Sobre a Densidade do Solo (Ds)	25
2.3.2 Efeitos Sobre a Porosidade do Solo.....	28
2.3.3 Efeitos Sobre a Resistência de Solo à Penetração (RP).....	32
2.4 Sistema Radicular da Cana-de-Açúcar	36
2.4.1 Desenvolvimento de Raízes e Condições do Solo.....	40
2.5 PERFIL CULTURAL COMO FERRAMENTA NO ESTUDO DO SOLO	42
2.6 EFEITO DO MONOCULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR NOS ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO	43
2.6.1 Biomassa Microbiana do Solo (BMS).....	46
2.6.2 Respiração Basal.....	48
2.6.3 Quociente Metabólico (qCO_2).....	49
2.6.4 Relação CBM/CO (Quociente microbiano) e CBM/CL.....	50
3 ARTIGO A: ATRIBUTOS QUÍMICOS DE LATOSSOLOS VERMELHOS COM CULTIVO CONTÍNUO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO NORTE DO PARANA	53
3.1 RESUMO E ABSTRACT	53
3.2 INTRODUÇÃO	55
3.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	57
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
3.4.1 Análise Conjunta de Dados	69
3.5 CONCLUSÕES	71

4 ARTIGO B: MORFOLOGIA DO SOLO, ATRIBUTOS FÍSICOS E DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES EM LATOSSOLOS VERMELHOS COM CANA-DE-AÇÚCAR EM DIFERENTES PERÍODOS DE CULTIVO.....	73
4.1 RESUMO E ABSTRACT	73
4.2 INTRODUÇÃO	75
4.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	76
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	80
4.4.1 Perfil Cultural	80
4.4.2 Resistência do Solo à Penetração (RP).....	92
4.4.3 Densidade do Solo Macroporos e Microporos	97
4.4.4 Distribuição de Raízes	101
4.5 CONCLUSÕES	106
5 ARTIGO C: CARBONO E ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS EM LATOSSOLOS VERMELHOS SOB DIFERENTES PERÍODOS DE CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	107
5.1 RESUMO E ABSTRACT	107
5.2 INTRODUÇÃO	109
5.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	110
5.3.1 Localização.....	110
5.3.2 Amostragem	112
5.3.3 Análises Laboratoriais	112
5.3.3.1 Carbono e Nitrogênio da Biomassa Microbiana (CBM e NBM)	112
5.3.3.2 Respiração Basal.....	113
5.3.3.3 Carbono Total e Lábil.....	113
5.3.4 Análise Estatística	113
5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	114
5.4.1 Carbono Total e Carbono Lábil.....	114
5.4.2 Carbono e Nitrogênio da Biomassa Microbiana (CBM e NBM)	118
5.4.3 Respiração Basal e Quociente Metabólico	121
5.4.4 Relação do Carbono da Biomassa Microbiana com Carbono total e Lábil.....	122
5.4.5 Análise Conjunta de Dados	124
5.5 CONCLUSÕES	127

6 CONCLUSÕES GERAIS	128
REFERÊNCIAS	129
APÊNDICES	147
APÊNDICE A – Valores médios da composição granulométrica em diferentes camadas das áreas do LVef plantado com cana por vários períodos	148
APÊNDICE B – Valores médios da composição granulométrica em diferentes camadas das áreas do LVd plantado com cana por vários períodos	150
ANEXO.....	152
ANEXO A – Descrição de variedades utilizadas	153

1 INTRODUÇÃO

A crescente expansão do cultivo de cana-de-açúcar (*Saccharum ssp*) como matéria prima para a indústria de açúcar e etanol é, um fato de grande importância econômica e social para o Brasil e outros países latino-americanos. Atualmente, é um dos cultivos mais relevantes da agroindústria nacional, que visa a geração de energia renovável e a diminuição da dependência do petróleo cada vez menos abundante.

São amplamente conhecidas as mudanças nos ecossistemas naturais determinadas pelos sistemas de cultivo. As operações agrícolas modificam o ecossistema natural e alteram de forma simultânea as relações entre animais, plantas, microbiota e ambiente e nem sempre conduzem a efeitos positivos sobre a produtividade das culturas.

A agroindustrialização da cana-de-açúcar intensificou a mecanização e o cultivo em grandes áreas, mediante emprego de máquinas e implementos agrícolas cada vez maiores e mais pesados, que acabam por comprometer as propriedades físicas dos solos. Apesar de práticas adotadas, como uso de adubos orgânicos e uso de escarificadores, que tem contribuído para a melhoria da produtividade agrícola, estas não evitam totalmente os efeitos negativos oriundos do sistema convencional de produção da cultura.

As mudanças nos atributos químicos, físicos e biológicos dos solos tropicais em áreas sob cultura da cana-de-açúcar são dependentes de fatores como clima, natureza dos solos, fertilidade, sistemas de manejo adotados, tipos de adubação, o que determina diferentes resultados, mesmo em solos com características similares.

A grande maioria dos solos cultivados com cana-de-açúcar apresenta textura argilosa, média a alta fertilidade, maior conteúdo de matéria orgânica (MO) e maior retenção de umidade; porém, com a expansão da cultura, incorporou-se ao processo produtivo grandes áreas de solos de textura arenosa, onde a monocultura por longos períodos e as práticas de cultivo podem ter efeitos negativos mais expressivos na sustentabilidade do processo produtivo.

Apesar dos avanços na geração de conhecimentos relacionados aos efeitos da cultura da cana-de-açúcar sobre os principais atributos do solo, a grande variabilidade de resultados obtidos, provenientes da quantidade de variáveis que interatuam sobre sua produtividade, existe ainda necessidade de estudos que permitam a identificação de fatores responsáveis pela degradação do solo, bem como a implantação de práticas mais adequadas à manutenção das condições agrícolas em forma localizada.

Dada a grande importância que têm a cultura da cana e a necessidade de melhorar o cenário produtivo desta espécie na região, se requer um maior conhecimento sobre os efeitos do sistema de produção contínuo nos principais atributos químicos, físicos e biológicos dos solos, visando melhorar o entendimento destas mudanças para aplicar as correções adequadas e promover a sustentabilidade do sistema produtivo.

Com o intuito de contribuir com esta expectativa, foi elaborado o presente trabalho que tem como objetivo avaliar os efeitos temporais do monocultivo com cana-de-açúcar sobre a morfologia, atributos físicos, químicos, biomassa microbiana do solo e crescimento de raízes em áreas agrícolas do norte do estado de Paraná, considerando como hipóteses que o tempo de cultivo com cana-de-açúcar origina mudanças nos diferentes atributos do solo.

Para a condução do trabalho, o objetivo geral foi subdividido nos seguintes objetivos específicos:

Avaliar os efeitos de períodos de cultivo contínuo com cana-de-açúcar sobre alguns atributos químicos de dois Latossolos Vermelhos no norte do estado de Paraná;

Estudar os aspectos morfológicos e estruturais do solo e sua interação com atributos físicos e o crescimento de raízes em dois Latossolos Vermelhos plantados com cana-de-açúcar por diferentes períodos de tempo e;

Avaliar os efeitos de períodos de cultivo do solo com cana-de-açúcar sobre alguns atributos microbiológicos relacionados ao ciclo do C em dois Latossolos Vermelhos.

Os resultados obtidos foram apresentados na forma de artigos científicos, antecedidos por uma revisão de literatura sobre cada área abordada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

É conhecido que a ação do homem nos campos produz mudanças importantes no solo, já que o estabelecimento de cultivos muda as relações de equilíbrio entre as características químicas, físicas e biológicas o que pode originar perdas e degradação deste recurso natural (CERRI et al., 1991; SILVA; RIBEIRO, 1998; DOMINY et al., 2002; MULLER, 2002; SILVA et al., 2005; SUMAN et al., 2006; CENTURION et al., 2007; LUCA et al., 2008). A crescente demanda de alimentos e energia renovável no mundo, assim como a necessidade de reduzir os efeitos negativos da produção agropecuária sobre o meio ambiente, tornam imperativo o conhecimento dos efeitos das práticas agrícolas intensivas como o cultivo da cana-de-açúcar, sobre os recursos naturais.

A crescente expansão do cultivo da cana-de-açúcar como matéria prima para a indústria de açúcar e etanol é, na atualidade, um fato de grande importância econômica e social em grande parte do território brasileiro e vários países latino-americanos. Atualmente é um dos cultivos mais relevantes da agroindústria nacional para a geração de alimentos e energia renovável. Segundo Silva e Ribeiro (1997), os solos utilizados no cultivo da cana-de-açúcar no Brasil vão desde Neossolos Quartzarênicos a Latossolos, sendo estes últimos, juntamente com os Argissolos, os mais representativos. Com a grande expansão do cultivo, estão sendo utilizados solos de texturas mais arenosas os quais precisam de intensos cuidados relacionados com sua conservação (ORLANDO FILHO et al., 1994). Muller (2002) assinala que grande parte do cultivo da cana-de-açúcar no norte do estado de Paraná encontra-se estabelecido em Latossolos Vermelhos distrofêricos ou eutrofêricos, os quais são caracterizados por apresentar um horizonte latossólico (Bw) de estrutura floculada, microagregada, redonda, sub-milimétrica, resultante da interação das argilas, óxidos de ferro e alumínio, além da MO que, junto com o quartzo, são os principais componentes dos solos tropicais (RAIJ, 1981).

2.2 EFEITO DO MONOCULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

As propriedades químicas dos solos tropicais sob cultivos são modificadas pelas diferentes práticas utilizadas no seu manejo, assim como pelas condições climáticas e características naturais do solo. Estas alterações dependem de fatores como cultura implantada, sistema de manejo, fertilidade do solo e dinâmica dos nutrientes (CERRI et al., 1991; SILVA; RIBEIRO, 1998; CENTURION et al., 2001; MULLER, 2002; NOBLE et al., 2003; CANELLAS et al., 2003; MAIA; RIBEIRO, 2004a).

Diversos pesquisadores constataram mudanças nas características químicas dos solos cultivados com cana-de-açúcar, sendo as principais modificações, em relação às condições originais, relacionadas ao carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT), acidez trocável, pH, bases trocáveis, CTC e fósforo, os quais são dependentes da fertilidade inicial. Geralmente, é reportado que solos eutróficos diminuem sua fertilidade; porém, nos solos distróficos esta aumenta (CERRI et al., 1991; SILVA; RIBEIRO, 1995; SILVA; RIBEIRO, 1998; CENTURION et al., 2001; MULLER, 2002; MAIA; RIBEIRO, 2004a).

Um dos principais efeitos da mudança de vegetação nativa para cana-de-açúcar como do tempo de uso contínuo do solo com esta cultura, está relacionado ao CO e NT do solo (CERRI et al., 1991; SILVA; RIBEIRO 1998; MULLER, 2002; CANELLAS et al., 2003; NOBLE et al., 2003; MAIA; RIBEIRO, 2004a; SILVA et al., 2006b). Segundo Cerri (1986), quando o ecossistema natural é substituído por uma cultura submetida a um manejo intensivo, como a cana-de-açúcar, o estoque de CO do solo decresce substancialmente em relação ao sistema natural, não sendo recuperado. Mais de 50% da matéria orgânica (MO) previamente acumulada é perdida por diversos processos nos primeiros anos de cultivo, entre eles, a decomposição microbiana e a erosão.

Muller (2002), trabalhando em Nitossolo Vermelho muito argiloso e em Neossolo Quartzarênico plantados em forma contínua por 12 e 50, e 5 e 25 anos com cana-de-açúcar, respectivamente, encontrou decréscimos no CO e NT do solo na camada superficial, nas áreas cultivadas em comparação com a vegetação nativa. Os teores de CO e NT foram maiores no Nitossolo (21,0 e 2,4 g dm⁻³, respectivamente), devido ao seu caráter muito argiloso, contra 11,0 e 1,2 g dm⁻³ obtidos no Neossolo. Concluiu-se que as principais modificações nos teores de MO ocorreram devido ao desmatamento e não ao aumento do tempo de cultivo com cana. No entanto, para o Nitossolo, os maiores teores de CO e NT foram encontrados no solo com maior tempo de uso com cana (50 anos), tanto nas camadas

superficiais quanto nas mais profundas (0,8 m), concluindo que o cultivo prolongado de cana-de-açúcar no Nitossolo, gera acúmulo de MO, provavelmente originada da biomassa das raízes da cultura.

Noble et al. (2003) avaliando os sistemas de queima e não queima da palhada de cana-de-açúcar, pastagens e um tratamento sob pousio em Oxic Humitropept plantado com cana-de-açúcar por 6 e 9 anos contínuos, encontraram que os níveis de CO aumentaram em 4 t ha^{-1} sob os tratamentos de cana sem queima comparados com os tratamentos sob queima 9 anos após do estabelecimento. No contraste, sob sistema de pastagens, o CO aumentou 9 t ha^{-1} aos 6 anos, após o estabelecimento em comparação ao uso contínuo da cana, demonstrando a capacidade superior das pastagens em seqüestrar o carbono principalmente em ambientes tropicais.

Cerri et al. (1991), avaliando o efeito do cultivo contínuo com cana-de-açúcar por 12 e 50 anos, depois do corte da mata nativa, sobre as principais propriedades de um Latossolo Vermelho escuro, encontraram que os solos sob mata nativa, apresentaram teores elevados de CO ($47,8 \text{ mg g}^{-1}$) nos 0,06 m superficiais, com um brusco decréscimo a partir desta profundidade. Por outro lado, os solos com 12 e 50 anos de cultivo apresentaram valores de CO de 16,5, e $14,6 \text{ mg g}^{-1}$, respectivamente, nos primeiros 0,10 m de profundidade. Para o NT, os valores nos mesmos tratamentos e profundidades foram de 4,88, 1,50 e $1,20 \text{ mg g}^{-1}$, respectivamente. Os teores de CO e NT foram sensivelmente inferiores nos 0,20 m superficiais dos solos cultivados por 12 e 50 anos, quando comparados com a mesma profundidade no solo sob mata nativa. No entanto, foi encontrado um ligeiro incremento de CO em profundidade nas áreas cultivadas em relação à mata natural, similar ao encontrado por Vitorello et al. (1989).

Silva e Ribeiro (1998), estudando os efeitos do cultivo contínuo da cana-de-açúcar plantada por períodos de 2, 18 e 25 anos nas propriedades químicas de Latossolo Amarelo argiloso, comparado com a vegetação nativa, encontraram que o teor de CO diminuiu com a profundidade ao longo de todo o perfil do solo, tanto no solo virgem quanto nos cultivados. Houve decréscimo significativo do teor de CO nos dois primeiros anos de cultivo ($18,8 \text{ g kg}^{-1}$) e recuperação aos 18 e 25 anos ($26,2$ e $22,2 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente), com valores semelhantes aos encontrados no solo de mata nativa ($25,6 \text{ g kg}^{-1}$). Estes autores atribuíram a variação ocorrida nos teores de CO à remoção mecanizada da vegetação natural nos primeiros anos de cultivo, e à rápida decomposição da MO, resultando na quebra do equilíbrio do ecossistema natural. Com o tempo de cultivo (18 e 25 anos), o solo adaptou-se ao novo equilíbrio que, neste caso, proporcionou teor de CO semelhante ao do solo virgem,

decorrente de práticas de manejo e da própria cultura da cana-de-açúcar que, apesar da queima, propiciou bom retorno de material orgânico.

Ao contrário do observado por Vitorello et al. (1989) e por Cerri et al. (1991), Silva e Ribeiro (1998) não observaram aumento no teor de CO em profundidade nos solos cultivados em relação ao solo virgem, e atribuíram este fato aos valores de densidade global mais elevados, o que certamente dificultou a penetração das raízes. A ausência de aumento dos teores de CO em profundidade com o cultivo da cana-de-açúcar também foi verificada por outros autores como Sampaio et al. (1987), que concluíram que 93% da massa de raízes dessa cultura encontram-se, normalmente, nos primeiros 0,60 m do solo, estando 75% nos primeiros 0,20 m de profundidade. Essa massa de MO, segundo Salcedo et al. (1985), pode promover uma taxa de mineralização anual de 3,4 t ha⁻¹ de CO nos 0,60 m de profundidade, podendo liberar grande quantidade de nutrientes.

Trabalhos feitos por Canellas et al. (2003), estudando o efeito da cultura da cana plantada por 35 e 55 anos com queima e sem queima, e com vinhaça e sem vinhaça, em Cambissolo Háplico Ta eutrófico vértico, encontraram na camada entre 0,0-0,20 m que o teor de CO variou de 13,13 g kg⁻¹, na cana queimada, para 22,34 g kg⁻¹, na cana crua, e de 15,71 g kg⁻¹ na cana sem adição de vinhaça, para 18,33 g kg⁻¹, na cana que anualmente recebeu vinhaça. Observaram que a melhora nos atributos químicos do solo favoreceu a formação de substâncias húmicas alcalino-solúveis mais polimerizadas. Verificaram também um acréscimo da ordem de 70 e 77% de CO na camada superficial e subsuperficial, respectivamente, na comparação entre cana crua e cana queimada. Estes autores encontraram ainda, que os teores de NT do solo também foram alterados de acordo com os sistemas de manejo utilizados. Na área de cana crua, nas camadas entre 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m, ocorreram aumentos de 47 e 50% nos teores de NT, respectivamente, em relação aos valores obtidos na área de cana queimada (1,5 e 1,45 g kg⁻¹) nas mesmas camadas. A adição de vinhaça não alterou os teores de NT no solo, em comparação com a área sem adição de resíduos.

Maia e Ribeiro (2004a) avaliando as modificações nos atributos químicos de um Argissolo Amarelo distrófico abrupto fragipânico, A moderado, textura média argilosa sob cultivo contínuo com cana-de-açúcar por 2 e 30 anos, encontraram que o conteúdo de CO diminuiu com a profundidade, tanto no solo com vegetação nativa quanto nos solos cultivados. Os maiores valores de CO no horizonte A, foram observados na mata nativa (21,2 g kg⁻¹) com decréscimo aos dois anos de cultivo (10,9 g kg⁻¹) e acréscimos no solo com 30 anos de cultivo (12,2 g kg⁻¹), atribuído a um novo equilíbrio, em decorrência das práticas de manejo adotadas ao longo de 30 anos e aplicação de vinhaça nos últimos 2 anos.

As variações do pH e acidez dos solos plantados em forma contínua por longos períodos de tempo com cana-de-açúcar, são influenciadas pela mineralização da MO no desmatamento, aplicações de calcário e gesso, adições de adubos orgânicos e práticas como queima da palhada (SANCHEZ, 1983; CERRI et al., 1991; SILVA; RIBEIRO, 1995; SILVA; RIBEIRO, 1998; CENTURION, 2001; MULLER, 2002; CANELLAS et al., 2003; MAIA; RIBEIRO, 2004a; SILVA et al., 2006a).

Sanchez (1983) e Silva e Ribeiro (1995) encontraram aumentos do pH do solo com o tempo de cultivo e atribuíram esse fato à aplicação de calcário ou à queima, já que esta operação propicia aumento nos conteúdos de Cálcio (Ca^{+2}), Magnésio (Mg^{+2}), e Potássio (K^{+}) do solo. Cerri et al (1991) observaram que o pH sob floresta foi de 5,8 em superfície diminuindo para 5,0 em profundidade. O cultivo proporcionou acidificação dos horizontes superficiais com diminuição de pH para os solos com 50 anos (4,8). Os maiores valores de Alumínio (Al^{+3}) ($1,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) foram encontrados na superfície do solo com 50 anos de cultivo.

Muller (2002) observou que o pH do solo foi maior e os teores de Al diminuiram nas áreas cultivadas com cana até os 0,40 m de profundidade tanto em Nitossolo Vermelho quanto em Neossolo Quartzarênico, sendo os valores de pH maiores no Nitossolo Vermelho que no Neossolo Quartzarênico. O tempo de cultivo também incrementou o pH e diminuiu a acidez nos dois tipos de solo. Resultados similares foram encontrados por Silva et al. (2006a).

Silva e Ribeiro (1998), em cana-de-açúcar com 2, 18 e 25 anos, comparada com mata nativa, não encontraram diferenças para o pH ao longo do perfil nos tratamentos avaliados; porém, os maiores valores de pH foram encontrados nos solos com 18 e 25 anos de cultivo, aumento que pode ser explicado pela aplicação de calcário, bem como de vinhaça, que também tem um efeito alcalinizante, similar ao encontrado por Maia e Ribeiro (2004a).

Canellas et al. (2003) encontraram alta correlação entre acidez potencial e teores de MO no solo; assim, a acidez potencial foi maior na camada superficial nas áreas com menor teor de CO, indicando que a oxidação da MO pode ser um componente importante na geração da acidez.

A dinâmica das bases trocáveis nos solos plantados com cana é variável e depende das práticas culturais realizadas, assim como das condições iniciais de fertilidade dos solos. O cultivo contínuo de cana-de-açúcar pode promover incrementos de bases trocáveis na superfície (SILVA; RIBEIRO 1998; MULLER, 2002) devido à calagem e adubação, assim como com a preservação da palhada e adição de vinhaça (CANELLAS et al., 2003; SILVA et

al., 2006a), ou decréscimos (CERRI et al., 1991; CENTURION et al., 2001; MAIA; RIBEIRO, 2004a), devido a aspectos texturais do solo e à absorção de nutrientes decorrente do tempo de cultivo. Incrementos de bases em profundidade com o cultivo da cana-de-açúcar são reportados por Cerri et al. (1991) e Silva e Ribeiro (1998), originados pela lixiviação de argilas, e desagregação da estrutura dos solos.

Segundo Muzilli (1985), o Ca^{+2} e o Mg^{+2} têm tendência de acumularem-se na superfície do solo e diminuir gradualmente com a profundidade, em virtude da aplicação de calcário na superfície e ao efeito residual da calagem que pode durar até 5 anos depois da sua aplicação. Entretanto, Cerri et al. (1991) encontraram que a diminuição da capacidade de troca de cátions, decorrente do tempo de cultivo em cana-de-açúcar, conduz a uma diminuição das bases tocáveis nos horizontes superficiais, com acréscimos em profundidade, como consequência da desagregação da estrutura dos solos, similar ao encontrado por Sanchez et al. (1983).

Silva e Ribeiro (1998), em Latossolo Amarelo argiloso, nos tratamentos com cana-de-açúcar de 18 e 25 anos, encontraram aumentos significativos nos teores de Ca^{+2} trocável (47 e 31 $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$) e K^+ trocável (3,5 e 3,7 $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$) no horizonte A, respectivamente, em comparação com os valores de 21 e 7,0 ($\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$) de Ca^{+2} e de 1,8 e 0,9 ($\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$) para o K^+ nos solos sob vegetação natural e 2 anos de cultivo, respectivamente, sem mudanças nos teores de Mg^{+2} nesse horizonte. Entretanto, o Ca^{+2} e o Mg^{+2} trocáveis aumentaram significativamente nos horizontes AB e BA nas áreas cultivadas por 18 e 25 anos, mostrando que parte das bases trocáveis aplicadas na fertilização e na calagem movimentou-se para camadas inferiores, atribuído em parte à migração de argila para horizontes inferiores, já que esta carrega com ela parte das bases trocáveis. Incrementos de Ca^{+2} e Mg^{+2} em camadas superficiais, decorrentes do tempo de cultivo com cana-de-açúcar, são reportadas por Muller (2002) em Neossolo Quartzarênico e Nitossolo Vermelho.

A adição de adubos orgânicos e preservação da palhada, também podem incrementar os teores de bases trocáveis no solo, tal como foi reportado por Canellas et al. (2003) e Silva et al. (2006a). Canellas et al. (2003) encontraram que o cultivo contínuo de cana crua, com vinhaça e com queima, alterou significativamente os teores de K^+ na camada superficial, em relação aos valores obtidos na área de cana queimada com 55 anos de cultivo (1,5 e 0,81 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente). Os teores de Mg^{+2} oscilaram ente 2,2 e 2,6 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e foram significativamente maiores nas áreas de cana crua e de cana com vinhaça, em comparação com os valores obtidos nas áreas de cana queimada e cana sem vinhaça. Já para o Ca^{+2} , nas profundidades entre 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m, os teores foram maiores no tratamento

de cana crua com 55 anos de cultivo contínuo (8,3 e 8,6 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ respectivamente), em relação à cana queimada e com 55 anos de cultivo contínuo (4,8 e 4,7 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) nas duas profundidades.

Segundo Sanchez et al. (1983), os limites de carência para bases trocáveis em solos tropicais são de 1,0 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ para Ca^{+2} , 0,3 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ para o Mg^{+2} (onde represente máximo 10% da capacidade de troca total) e 0,2 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ para K^+ com uma relação $\text{Mg}/\text{K} > 1,2$. Para os solos do Brasil, Raij (1981) apresenta os seguintes valores limites: $\text{Mg}^{+2} = 0,4$; $\text{Ca}^{+2} = 1,0$; e $\text{K}^+ = 0,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

Além dos teores de bases trocáveis no solo, a dinâmica das relações entre as mesmas deve ser levada em conta no manejo da fertilização, devido aos possíveis desequilíbrios que podem afetar sua absorção pela planta ou causar perdas por lixiviação (ORLANDO FILHO et al., 1996).

Segundo Albrecht (1996), um adequado equilíbrio entre bases trocáveis no solo, relacionado com a CTC, deve apresentar valores entre 50 a 65% de Ca^{+2} , 10 a 15% de Mg^{+2} e uma faixa de 2 a 4% para o K^+ . Para a cana-de-açúcar, Marinho et al. (1983) encontraram que a relação Ca/Mg adequada varia entre 3 e 4. Orlando Filho et al. (1996), estudando as relações entre Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^+ e a produtividade da cana-de-açúcar, observaram que a relação Ca/K , relacionada com maiores produtividades de cana, foi aquela onde Ca/K foi menor que 6. Vitti et al. (2006) assinalam que a relação de $\text{K}/\text{Mg} > 4$ é uma das causas para encontrar deficiências de Mg nos solos tropicais. Orlando Filho et al. (1996) encontraram que a relação $\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})^{0,5}$ superior a 0,19 encontra-se relacionada com alta produtividade da cana. Reis (2001) classifica a relação $\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})^{0,5}$ em baixa ($<0,2547$), média (0,2547 a 0,3349) e alta ($>0,3349$).

Os efeitos originados pelo cultivo contínuo da cana sobre pH, CO, acidez potencial, bases trocáveis e algumas mudanças texturais, estão relacionados com a dinâmica da capacidade de troca de cátions (CTC). Cerri et al. (1991), em Latossolo Vermelho escuro, observou, nos primeiros 0,20 m, diminuição na CTC após o desmatamento, variando de 7,76 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ na mata nativa para 2,1 e 2,5 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ nos solos com 12 e 50 anos de cultivo, respectivamente; situação que foi mantida até os 0,40 m de profundidade, associado à diminuição da MO. Adicionalmente, foi observado que a lixiviação dos cátions trocáveis em solos cultivados acarretou aumento relativo da CTC em profundidade.

Muller (2002) observou que a CTC foi sempre maior na vegetação nativa em comparação com as áreas cultivadas por 5 e 25 anos com cana em Neossolo Quartzarênico, principalmente até 0,40 m de profundidade, resultado dos maiores teores de

MO; sendo que a diminuição da MO em profundidade foi acompanhada pelo decréscimo dos valores de CTC. Situação similar foi observada no Nitossolo Vermelho, com 50 anos de cultivo com cana-de-açúcar; porém, com maiores valores de CTC na camada entre 0,20-0,80 m de profundidade.

Silva e Ribeiro (1998), em Latossolo Amarelo argiloso, encontraram que, com o tempo de cultivo, ocorria queda significativa nos valores da capacidade de troca de cátions, tanto calculada (Valor T) quanto determinada (CTC), nos primeiros 2 anos de cultivo, graças à redução do teor de MO, havendo depois uma recuperação nos solos cultivados por 18 e 25 anos, em virtude da reposição nos próprios níveis de MO. Resultados similares foram obtidos por Maia e Ribeiro (2004a) em Argisolo Amarelo distrófico.

A preservação da palhada e as aplicações de adubos orgânicos como vinhaça podem melhorar a CTC do solo, devido aos seus efeitos sobre o CO. Sobre esse aspecto, Canellas et al. (2003) encontraram que a CTC foi alterada significativamente após 55 anos de preservação da palhada sobre a superfície do solo. Os aumentos foram de 57 e de 68%, nas camadas entre 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente, em comparação aos valores encontrados na área com cana queimada. Nas áreas de cana com vinhaça também foi observado aumento significativo da CTC na camada superficial, porém em menor magnitude (8%), quando comparado com os valores observados na área de cana sem vinhaça. Houve uma correlação significativa entre a CTC efetiva e o teor de CO do solo, indicando que parte da variação da CTC é devida à MO do solo. Resultados similares foram obtidos por Centurion et al. (2001), Noble et al. (2003) e Silva et al. (2006a).

Segundo Raij (1981), a contribuição da MO para CTC é importante e pode ser estimada entre 56 e 82% da CTC de solos sob condições tropicais, o que favorece a retenção de cátions e diminui as perdas por lixiviação. Nos solos de mineralogia predominantemente 1:1, a MO do solo comanda o desenvolvimento de cargas na superfície, sendo natural a maior CTC nas áreas de maior aporte de MO.

Os conteúdos de fósforo (P) em solos tropicais são classificados como baixos a muito baixos e seus maiores teores estão, principalmente, em horizontes superficiais devido à baixa mobilidade e solubilidade de seus compostos, em especial em solos de natureza ácida onde o P se fixa com óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (RAIJ, 1981), assim como pela sua adsorção com MO, argila e colóides amorfos (SANCHEZ e UEHARA 1980), influenciando sua disponibilidade para as plantas. Segundo Raij (1997), os valores limites de deficiência de P são de 6 e 15 mg dm⁻³ para a cana planta e cana soca, respectivamente.

Em Latossolo Vermelho escuro, Cerri et al (1991) verificaram que, em todos os tratamentos tanto em cana quanto em vegetação natural, os valores encontrados mostravam elevada carência em P. Os autores encontraram baixos teores de P após 12 anos de cultivo seguido de aumento posterior aos 50 anos, ligado, provavelmente, aos efeitos cumulativos da fertilização.

Silva e Ribeiro (1998), em Latossolo Amarelo argiloso, encontraram acréscimos significativos nos teores de P, no horizonte superficial, decorrentes do tempo de cultivo, com valores de 29 e 47 mg dm⁻³ nos solos com 18 e 25 anos em cana-de-açúcar, respectivamente, e uma redução significativa em profundidade, mostrando a pouca mobilidade desse elemento no solo, similar ao encontrado por Centurion et al. (2001).

Muller (2002) encontrou maiores teores de P no solo de mata nativa em comparação com as áreas cultivadas com cana-de-açúcar, devido, possivelmente, à presença de MO do solo e ao fato de não haver exportação de nutrientes com cultivos ou colheitas. Não foram observadas diferenças nos teores de P entre as áreas cultivadas por 5 e 25 anos para o Neossolo Quartzarênico. Entretanto, no Nitossolo vermelho, as áreas com 50 anos apresentaram os maiores valores de P em todo o perfil de solo até 0,80 m de profundidade, quando comparadas as de 12 anos.

Canellas et al. (2003), em Cambissolo Háplico, encontraram teores significativamente maiores de P disponíveis nas áreas cultivadas com cana crua em comparação com cana queimada e sem adição de vinhaça. Além do efeito cumulativo da aplicação de nutrientes no solo pelos fertilizantes, o retorno das formas de P acumuladas na biomassa vegetal pode contribuir para o aumento observado. Na área de cana com vinhaça, o teor de P disponível também foi estatisticamente maior do que o da área de cana sem vinhaça.

Maia e Ribeiro (2004a), em Latossolo Amarelo distrófico, verificaram que os teores de P no solo de mata foram baixos (< 5 mg dm⁻³) devido, especialmente, à pequena quantidade desse elemento nas rochas ou materiais de origem do solo. O maior teor de P assimilável presente no solo sob vegetação natural foi localizado no horizonte superficial, provavelmente por causa da reciclagem e mineralização de compostos orgânicos, e decresceu significativamente no horizonte AB, acompanhando a redução da MO. Nos perfis cultivados com cana, os teores de P assimilável foram mais altos (17 a 58 mg dm⁻³); no entanto, também decresceram de forma significativa nos horizontes sub-superficiais. Os maiores valores de P, ao longo dos perfis cultivados com cana, foram resultantes da aplicação de fertilizantes, coincidindo com Silva e Ribeiro (1998).

Com relação aos micronutrientes, Orlando Filho e Rodella (1983), evidenciam escassez de informações sobre limites de carência para os solos brasileiros cultivados com cana-de-açúcar. Segundo Raij et al. (1997), os limites de carência e deficiência para o Boro (B) (água quente) são de $0,2 \text{ mg dm}^{-3}$, para o Cobre (Cu) de $0,2 \text{ mg dm}^{-3}$, para o Ferro (Fe) de $0,4 \text{ mg dm}^{-3}$, para o Manganês (Mn) de $1,2 \text{ mg dm}^{-3}$ e para o Zinco (Zn) (DTPA) de $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$. Em solos de tabuleiro do nordeste brasileiro cultivados com cana-de-açúcar, Marinho e Albuquerque (1981) observaram que teores de Cu menores que $0,25 \text{ mg dm}^{-3}$ e Zn menor que $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ mostravam reação à adição destes elementos. Santos e Sobral (1981) indicam o teor de $0,8 \text{ mg dm}^{-3}$ como nível crítico para o Cu. Para outras culturas Sanchez et al. (1983) indicaram 5 mg dm^{-3} para o Mn.

Muller (2002) encontrou alta correlação entre teores de MO e alguns micronutrientes do solo, especialmente B, Fe e Mn em Nitossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico. Canellas et al. (2003), em Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico, encontraram que os teores dos micronutrientes estudados foram maiores nas áreas onde se preservou a palhada, independentemente da profundidade do solo, quando comparado ao manejo com queima do canavial. Assim mesmo, a adição de vinhaça proporcionou acréscimos significativos nos teores de Cu, Zn e Mn, na camada de solo entre 0,0-0,20 m e de Cu e Fe entre 0,20-0,40 m.

Desprende-se do anterior, que as mudanças nos atributos químicos dos solos tropicais sob cultura da cana-de-açúcar dependem das suas características originais como textura, mineralogia, e fertilidade, assim como da dinâmica dos nutrientes, originada pelas práticas de manejo utilizado durante o tempo de cultura, entre as quais se destacam as adubações, tanto minerais quanto orgânicas, e a queima da palhada, podendo-se encontrar respostas diferentes, mesmo em solos com características similares. Em geral pode-se inferir que os solos eutróféricos apresentam diminuição da sua fertilidade e os distróficos aumentos desta pela ação das práticas culturais efetuadas com o decorrer do tempo.

2.3 EFEITO DO MONOCULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

O cultivo da cana-de-açúcar envolve o uso de máquinas agrícolas em todas as fases do cultivo, do preparo do solo até a colheita. Segundo Camilotti et al. (2005), o tráfego freqüente de tratores e colhedoras, assim como o uso de implementos agrícolas na

entrelinha da cultura da cana, originam uma pressão que pode causar compactação e alteração da estrutura do solo. Ainda, ao fim do ciclo de produção, é comumente realizada a queima da palhada antes da colheita, afetando a manutenção dos níveis de MO do solo (DOMINY et al., 2002; LUCA et al., 2008).

A intensidade da degradação das propriedades físicas do solo e as alterações nos fatores de crescimento e produtividade da cana-de-açúcar são variáveis e dependem das características naturais do solo (SILVA et al., 1998; DOMINY et al., 2002; MULLER, 2002; SILVA et al., 2005; SILVA et al., 2006a, 2006b; CENTURION et al., 2007; LUCA et al., 2008), do preparo do solo (PAULINO et al., 2004; CAMILOTTI et al., 2005), da intensidade de uso (SILVA; RIBEIRO, 1997; MAIA; RIBEIRO, 2004b), dos sistemas de colheita (CEDDIA et al., 1999; SOUZA et al., 2005; LUCA et al., 2008), e do tipo de adubação (MAIA; RIBEIRO, 2004b; SILVA et al., 2006a, 2006b).

As principais modificações estão relacionadas à redução dos teores de CO (CENTURION et al., 2007; LUCA et al., 2008), degradação estrutural e compactação do solo, evidenciadas pelo aumento da densidade do solo (Ds) (SOUZA et al., 2005; CAMILOTTI et al., 2005; CENTURION et al., 2007), pela redução do tamanho dos agregados (MULLER, 2002; MAIA; RIBEIRO, 2004b; SOUZA et al., 2005; WENDLING et al., 2005; SILVA et al., 2006a; LUCA et al., 2008) e da macroporosidade (SILVA; RIBEIRO, 1997; SILVA et al., 2005; WENDLING et al., 2005; CENTURION et al., 2007), assim como pelo incremento na resistência do solo à penetração (RP) (CENTURION et al., 2001; SOUZA et al., 2005; BRITO et al., 2006; IAIA et al., 2006; SOUZA et al., 2006; AZEVEDO, 2008), principalmente em solos cultivados por longos períodos de tempo em forma de monocultura, resultando, em última instância, no declínio da produtividade e longevidade da lavoura (BARBIERI et al., 1997; CAMILOTTI et al., 2005).

Segundo Richard et al. (2005) o termo compactação do solo refere-se ao processo que descreve o decréscimo de volume de solos não saturados quando uma determinada pressão externa é aplicada, a qual pode ser causada pelo tráfego de máquinas agrícolas, equipamentos de transporte ou animais. Para a Pedologia, a compactação do solo é definida como uma alteração no arranjo de suas partículas constituintes do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997). Além da textura e da estrutura, o conteúdo de umidade no momento da mecanização é de grande importância no processo de compactação do solo.

2.3.1 Efeitos Sobre a Densidade do Solo (Ds)

Diversos trabalhos demonstram os efeitos das práticas de manejo na cultura da cana-de-açúcar na compactação em diferentes tipos de solo, desde muito argilosos até arenosos (OLIVEIRA et al., 1995; BARBIERI et al., 1997; SILVA e RIBEIRO, 1997; SILVA 2003; CENTURION et al., 2007; LUCA et al., 2008).

Centurion et al. (2007), trabalhando em Latossolo Vermelho caulínítico com 28 g dm^{-3} de MO e 340 g kg^{-1} de argila, e Latossolo Vermelho caulínítico-oxídico com $38,6 \text{ g dm}^{-3}$ de MO e 509 g kg^{-1} de argila, plantados por 1, 2 e 4 anos contínuos com cana-de-açúcar, encontraram que o tempo de cultivo proporcionou aumento na Ds nos dois tipos de solo. No Latossolo Vermelho caulínítico, na camada entre 0,0-0,30 m, a Ds média foi de $1,14 \text{ Mg m}^{-3}$ no solo de mata nativa, $1,29 \text{ Mg m}^{-3}$ no talhão com cana planta, $1,27 \text{ Mg m}^{-3}$ no talhão com cana de 2 anos e de $1,47 \text{ Mg m}^{-3}$ no talhão de cana com 4 anos. Por sua vez, no Latossolo Vermelho caulínítico-oxídico, as Ds médias para cada sistema de manejo foram de 1,08, 1,12, 1,29 e $1,33 \text{ Mg m}^{-3}$ para os talhões com mata nativa, cana planta e cana com 2 e 4 anos, respectivamente, onde as menores Ds estiveram nos primeiros 0,10 m de profundidade, mostrando os efeitos negativos do tempo de cultivo sobre a Ds. Os autores encontraram que a mata nativa apresentou a menor Ds na camada entre 0,0–0,10 m, em relação aos demais tratamentos, devido ao maior teor de MO nesta camada, o que favorece a diminuição da Ds, pela sua maior estruturação, assim como à ausência de tráfego de máquinas e implementos.

No mesmo trabalho, Centurion et al. (2007) observaram que os maiores valores de Ds corresponderam aos Latossolos com maiores teores de caulinita, em razão do ajuste face a face das placas de caulinita, que desenvolvem um plasma denso, conferindo a estes valores mais elevados de Ds. Resultados similares foram encontrados por Oliveira et al. (1995) em Latossolo Vermelho escuro cultivado com cana-de-açúcar por 16, 30 e 50 anos, onde foi encontrado que as Ds médias nos primeiros 0,60 m de profundidade, aumentaram em 20%, 13% e 14%, nas áreas de 16, 30 e 50 anos, respectivamente, devido ao uso intensivo de maquinaria.

Efeitos diferentes relacionados com o tempo de cultivo sobre a compactação do solo com cana-de-açúcar foram obtidos por Silva e Ribeiro (1997) nos horizontes Ap e AB em Latossolo Amarelo argiloso, plantado por períodos de 2, 18 e 25 anos. Aos 2 anos de cultivo, foram observados valores de Ds de $1,54$ e $1,57 \text{ Mg m}^{-3}$, respectivamente, superiores estatisticamente aos da mata nativa; porém, tais valores decresceram significativamente após

25 anos de cultivo, até atingir, valores semelhantes aos verificados no solo sob mata nativa ($1,26-1,30 \text{ Mg m}^{-3}$). Segundo os autores, os resultados obtidos evidenciam a ocorrência de grande impacto com a remoção mecânica da vegetação natural no primeiro plantio da cana-de-açúcar e a recuperação da Ds para valores próximos à situação do solo virgem, devido, possivelmente, ao sistema radicular fasciculado e ao seu caráter semi-perene.

Silva (2003) salienta que o tráfego de máquinas pesadas na área cultivada, principalmente por ocasião da colheita, quando caminhões carregados com cana-de-açúcar atingem uma massa de 26 Mg, contribui para a compactação em profundidade. Barbieri et al. (1997), estudando os efeitos de diferentes sistemas de preparo do solo para cana-de-açúcar em Latossolo Roxo, verificaram que a compactação do solo atingiu a profundidade de 0,60 m, principalmente no preparo com grades pesadas.

A queima da palhada antes da colheita é outro fator de desequilíbrio do arranjo das partículas do solo, em virtude da diminuição dos estoques de CO com a conseqüente aceleração no processo erosivo e de degradação dos atributos físico do solo, situação verificada por Ceddia et al. (1999) e Luca et al. (2008). Segundo Luca et al (2008), no sistema de cana queimada, o fato da superfície do solo ficar exposta aos impactos das gotas de chuva, principalmente no período pós-colheita, influi no aumento da Ds. Segundo estes mesmos autores, o manejo com queima causou a destruição dos agregados e a individualização das partículas, resultando em aumento da Ds e conseqüentes diminuições de macroporosidade e porosidade total do solo.

Souza et al. (2005), avaliando o efeito de sistemas de colheita e manejo da cana crua com e sem incorporação da palhada e cana queimada nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, encontraram que o sistema de cana crua com incorporação da palhada apresentou menor Ds, com valores de $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$, contra $1,50$ e $1,60 \text{ Mg m}^{-3}$ nos sistemas de cana queimada e cana crua sem incorporação da palha, respectivamente. Ceddia et al. (1999) encontraram que o sistema de manejo com cana queimada apresentou Ds de $1,59 \text{ Mg m}^{-3}$ significativamente superior à do sistema de manejo com cana crua ($1,50 \text{ Mg m}^{-3}$), na profundidade entre 0,0-0,5 m confirmando o processo de compactação superficial do solo.

Wood (1991), avaliando Oxissolos e Inceptissolos da Austrália encontrou que, a partir do segundo ano de tratamento de cana com queima, a Ds foi 7% maior nos primeiros 0,14 m de profundidade, em relação ao tratamento de colheita sem queima, observando que as diferenças foram maiores nas entrelinhas de plantio, local de passagem das rodas das máquinas empregadas na colheita.

Os efeitos da compactação estão ligados ao CO. Solos com estoques maiores de CO, apresentam efeitos menores de compactação que aqueles com menores estoques (BRAIDA et al., 2006). Portanto, os aportes de materiais orgânicos ao solo podem diminuir os efeitos da compactação. Sobre este aspecto, Silva et al. (2005), avaliando os sistemas de cana-de-açúcar em sequeiro, irrigação e vinhaça, nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo coeso, verificaram aumentos significativos nos valores de Ds nas três áreas cultivadas, nas camadas entre 0,0–0,20 e 0,20–0,40 m, em relação ao solo sob mata nativa. Os valores obtidos para estes tratamentos foram de 1,29; 1,61; 1,54; e 1,42 Mg m⁻³ na camada de 0,0-0,2 m e de 1,41; 1,53; 1,65 e 1,44 Mg m⁻³ na camada entre 0,20-0,40 m para a mata e os sistemas de cana em sequeiro, irrigação e vinhaça, respectivamente, mostrando as vantagens da aplicação de adubos orgânicos sobre a compactação dos solos decorrente do aumento de CO.

Além da compactação causada por pressões externas, o acúmulo de argila em sub-superfície pode originar camadas mais compactadas e provocar mudanças importantes nas propriedades físicas do solo. A deposição de argila nas paredes dos poros e sobre os grãos de quartzo causa um arranjo mais compacto de partículas, aumentando o adensamento das camadas sub-superficiais (SILVA et al., 2005; SILVA et al., 2006a). O fenômeno mencionado anteriormente é mais expressivo em solos cuja argila está em maior grau de dispersão, migrando facilmente sob condições de chuva ou irrigação (HELALIA et al., 1988).

A compactação do solo é influenciada também pela classe textural dos solos. Luca et al. (2008), avaliando os teores de CO e N sobre a estabilidade de agregados e Ds com cana crua e queimada de um solo argilosos (Latosolo Vermelho distroférico) e dois solos arenosos (Argissolo Vermelho Amarelo distrófico e Neossolo Quartzarênico órtico), encontraram que a menor Ds foi observada no Latossolo Vermelho distroférico, que apresentou o menor teor de areia e o maior teor de argila. O gradiente de Ds prosseguiu com a seqüência Neossolo Quartzarênico órtico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, ou seja, maiores Ds em solos com altos teores de areia. As amplitudes das Ds foram: 1,21-1,44 Mg m⁻³ no Latossolo Vermelho distroférico; 1,43-1,76 Mg m⁻³ no Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico e 1,44-1,72 Mg m⁻³ no Neossolo Quartzarênico órtico. Ocorreram compactações significativas nas camadas superficiais (0,0–0,10 e 0,10–0,20 m) nos solos arenosos (Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico e Neossolo Quartzarênico órtico) sob o manejo sem queima. Segundo os autores, solos de textura fina não podem ser compactados às densidades máximas no mesmo nível dos de textura grosseira, porque os solos de textura fina têm,

proporcionalmente, mais espaço com microporos, que são resistentes à compactação (SEIXAS, 2002).

Entre as formas para descompactar o solo durante o ciclo da cultura ou na reforma do canavial, emprega-se o escarificador no cultivo da entrelinha da soqueira, que pode alterar (CERQUEIRA LUZ, 1989) ou não (ORLANDO FILHO et al., 1994; ORLANDO FILHO et al., 1998; CAMILOTTI et al., 2005) a Ds em camadas superficiais, porém com pouco efeito em camadas sub-superficiais (CAMILOTTI et al., 2005). Paulino et al. (2004), estudando a escarificação na pós-colheita de cana-de-açúcar e seus efeitos nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho, encontrou que o uso de escarificador a 0,15 m apresentou Ds significativamente inferior ($1,57 \text{ Mg m}^{-3}$) à do solo com escarificação a 0,30 m ($1,63 \text{ Mg m}^{-3}$), observando que a escarificação a 0,30 m de profundidade foi menos efetiva do que a escarificação a 0,15 m.

2.3.2 Efeitos Sobre a Porosidade do Solo

Vários trabalhos demonstram que o manejo inadequado e o tempo de cultivo contínuo com cana-de-açúcar afetam a porosidade do solo e, em particular, a sua macroporosidade (OLIVEIRA et al., 1995; SILVA; KAY, 1997; MAIA; RIBEIRO 2004b; CENTURION et al., 2007).

Centurion et al. (2007), trabalhando em Latossolo Vermelho caulínítico e em Latossolo Vermelho caulínítico-oxídico plantados com cana por 1, 2 e 4 anos, encontraram que os volumes de macroporos, microporos e poros totais foram influenciados pelo tempo de cultivo, em decorrência da alteração ocorrida na Ds nos dois tipos de solo. Os valores médios de macroporosidade no Latossolo Vermelho caulínítico foram de $0,225 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para a mata nativa, $0,115 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para cana planta, $0,115 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no talhão com cana de 2 anos e de $0,095 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no talhão de cana com 4 anos. No Latossolo Vermelho caulínítico-oxídico, a macroporosidade média, respectivamente, foi de 0,286, 0,217, 0,144, e $0,146 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para mata nativa, cana planta e cana de 2 e 4 anos, com maiores valores na camada entre 0,0-0,10 m e decréscimos em profundidade.

Segundo Centurion et al. (2007), os maiores valores de macroporosidade no Latossolo Vermelho caulínítico podem estar correlacionados positivamente com o maior teor de argila, tal como foi reportado por Ferreira et al. (1999). Sobre este aspecto, Pedrotti et al.

(2003) observaram correlação negativa da macroporosidade com o aumento da caulinita na fração argila dos solos e correlação positiva com o aumento da gibbsita.

Para microporosidade, Centurion et al. (2007) não encontraram diferença estatística entre as camadas e os manejos estudados no Latossolo Vermelho caulínico. Entretanto, no Latossolo Vermelho caulínico-oxídico, os autores encontraram que os valores médios de microporosidade, para cada manejo, na camada de 0,0-0,30 m de profundidade, foram de 0,295, 0,343, 0,386, 0,367 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ para a mata nativa, cana planta e cana com 2 e 4 anos, respectivamente, com acréscimos em profundidade acompanhando a diminuição da macroporosidade. Segundo os autores, no processo de compactação ocorre a transformação de macro em microporos, sendo a microporosidade influenciada pela textura e pelo teor de CO (SILVA; KAY, 1997).

Maia e Ribeiro (2004b), avaliando as alterações nas propriedades morfológicas e físicas de um Argissolo Amarelo distrófico abrupto fragipânico sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar por períodos de 2 e 30 anos, encontraram que a porosidade total não foi alterada de forma significativa pelo tempo de cultivo nem pela profundidade nos solos estudados, nos horizontes Ap e AB. Por sua vez, a macroporosidade diminuiu com a profundidade, tanto na mata quanto nos solos cultivados. Os valores de macroporosidade observados nos horizontes Ap e AB, respectivamente, foram de 0,380 e 0,270 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ para mata nativa, 0,170 e 0,170 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ no solo com 2 anos e 0,210 e 0,100 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ para os solos com 30 anos com cana, mostrando um efeito negativo da intensa mecanização em horizontes sub-superficiais com maior tempo de uso com cana.

Para a microporosidade, Maia e Ribeiro (2004b) verificaram que o uso contínuo do solo com cana-de-açúcar causou um expressivo aumento desta variável. Os valores médios de microporosidade obtidos no horizonte superficial A e Ap foram de 0,170 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ na mata nativa, 0,260 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ no solo com 2 anos de cultivo e 0,25 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ no solo com 30 anos de cultivo. Nos horizontes sub-superficiais AB, os efeitos foram menos evidentes, sendo o valor da microporosidade de 0,200, 0,210 e 0,270 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, para os solos com vegetação nativa, 2 e 30 anos de cultivo, respectivamente. Segundo os autores, o aumento da microporosidade foi originado pela intensa utilização de máquinas comprimindo os poros, e ainda, pelo entupimento dos mesmos por argila eluvial.

Oliveira et al. (1995) trabalhando em um Latossolo Vermelho escuro cultivado com cana-de-açúcar sob cultivo contínuo por 16, 30 e 50 anos, observaram diminuição da porosidade total e macroporosidade com o passar do tempo, principalmente, na camada de 0,0-0,3 m de profundidade. A macroporosidade média variou de 0,30 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ na

mata nativa para $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nos talhões cultivados. Por sua vez, foram observados acréscimos importantes da microporosidade média, na mesma camada, mudando de $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na mata nativa para valores entre $0,45$ e $0,55 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nos solos plantados com cana. Estes resultados coincidem com os encontrados por Silva e Ribeiro (1992), os quais estudaram o efeito de vários anos de cultivo convencional com cana-de-açúcar, observando que, nos solos com maior tempo de cultivo, a porosidade diminuía e, com maior evidência, a macroporosidade ou poros não capilares, responsáveis pela drenagem, percolação e aeração do solo.

Efeitos diferentes sobre a porosidade do solo decorrentes do tempo de cultivo com cana foram observados por Silva e Ribeiro (1997) em Latossolo Amarelo argiloso, plantado por períodos de 2, 18, e 25 anos com cana-de-açúcar. Os autores encontraram que a porosidade total caiu significativamente, no primeiro plantio nos horizontes Ap e AB ($0,426$ e $0,423 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, respectivamente) contra ($0,522$ e $0,517 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) na mata nativa, apresentando-se uma recuperação aos 25 anos de cultivo, onde foram atingidos valores semelhantes aos do solo virgem. Os valores da macroporosidade tiveram a mesma tendência que a porosidade total; assim, no horizonte superficial do perfil sob mata nativa, as condições naturais favoreceram o desenvolvimento da macroporosidade ($0,260 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), com decréscimos significativos no perfil com dois anos de cultivo ($0,173 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e posteriores acréscimos no solo com 25 anos de cultivo ($0,228 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), mostrando que o manejo do solo em longo prazo favoreceu o desenvolvimento da macroporosidade na superfície. No entanto, os valores de microporosidade aumentaram em profundidade em todos os perfis em decorrência do aumento do teor de argila, que leva à formação de poros pequenos e à conseqüente redução dos macroporos.

Práticas que reduzam ou incrementem o CO do solo, podem afetar a distribuição de poros. Souza et al. (2005), avaliando sistemas de colheita e manejo da cana crua com e sem incorporação e cana queimada, nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, encontraram, nos primeiros $0,30 \text{ m}$ de profundidade, valores de $0,47 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para porosidade total e de $0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para macroporosidade no tratamento com cana crua e incorporação da palhada, estatisticamente superiores aos obtidos nos tratamentos com cana queimada. Esses valores foram condizentes com menores valores de Ds e maiores teores de MO. Resultados similares foram obtidos por Ceddia et al. (1999), estudando o sistema de colheita com cana crua e queimada em Podzólico Amarelo.

Silva et al. (2005), estudando os efeitos de diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo coeso,

encontraram redução significativa na porosidade total e na macroporosidade e acréscimos na microporosidade dos solos cultivados sob os sistemas sequeiro, irrigado e vinhaça em relação ao solo sob mata nativa. A porosidade total no solo de mata nativa, na camada entre 0,0–0,20 m, foi de $0,509 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, com reduções de 20, 17 e 10% nos solos sob os sistemas sequeiro, irrigado e aplicação de vinhaça, respectivamente. Os macroporos tiveram redução de 55, 44 e 32% nos solos sob os sistemas sequeiro, irrigado e vinhaça, respectivamente, em relação ao solo da mata ($0,229 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Como consequência da redução dos poros de maior diâmetro, apresentou-se um acréscimo significativo dos microporos nos primeiros 0,4 m de profundidade nas áreas cultivadas com cana ($0,192$; $0,179$ e $0,178 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) para o sistema sequeiro, irrigação e vinhaça, respectivamente, já na área de mata nativa, o valor encontrado foi de $0,155 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Os maiores valores dos poros de maior diâmetro ocorreram no solo com vinhaça, o que, provavelmente, está relacionado com um melhor desenvolvimento do sistema radicular da cultura proporcionado pela aplicação deste adubo orgânico (SILVA, 2003).

A utilização de práticas como o cultivo ou escarificação da entrelinha pode originar efeitos importantes na distribuição de poros no solo (PAULINO et al., 2004; CAMILOTTI et al., 2005). Camilotti et al. (2005), avaliando o efeito prolongado de sistemas de preparo do solo, com e sem cultivo da soqueira, em Latossolo Vermelho distrófico típico sob cultivo de cana crua, encontraram que o cultivo da soqueira favoreceu o aumento da macroporosidade com diminuição da microporosidade nos primeiros 0,10 m de profundidade. Os valores de macroporosidade obtidos foram de $0,151 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o sistema com cultivo da soqueira e $0,101 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o sistema sem cultivo da soqueira. Por sua vez, a microporosidade obtida foi de $0,391 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ com cultivo da soqueira e de $0,449 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ sem cultivo da soqueira antes da quarta colheita de cana. Entretanto, o aumento na macroporosidade foi suprimido após a colheita da cultura, obtendo-se valores de $0,086 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no sistema com cultivo da soqueira e de $0,093 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ sem cultivo da soqueira, provavelmente pelo efeito do tráfego de máquinas nesta etapa. Foi encontrado, ainda, redução da macroporosidade e conseqüente aumento da microporosidade nas camadas abaixo de 0,10 m, após 4 anos de cultivo com cana-de-açúcar, ligados ao manejo da cultura com alto grau de mecanização.

Paulino et al. (2004), estudando os efeitos da escarificação na pós-colheita de cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho, não encontraram efeitos significativos na porosidade total, na macroporosidade e na microporosidade com o uso do tríplice cultivo nas profundidades de 0,15 e 0,30 m; contudo, os valores de macroporos e porosidade total foram maiores nos tratamentos com tríplice cultivo, quando comparados com o tratamento de

gradagem na entrelinha para adubação e eliminação de plantas daninhas. Foi observada predominância dos microporos em relação aos macroporos em todos os tratamentos e nas duas profundidades, sendo essa diferença mais acentuada no tratamento só com gradagem, confirmando a compactação da área. No entanto, os autores assinalam que a escarificação do solo com o tríplice cultivo se faz necessária, tanto para reduzir a Ds e a microporosidade, quanto para aumentar a macroporosidade, uma vez que na área onde esta não foi realizada, estas propriedades apresentaram-se menos adequadas.

Segundo Baver et al. (1973), o limite de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ é considerado como o mínimo de poros de aeração para a maioria das culturas para promover o desenvolvimento satisfatório do sistema radicular. Por sua vez, Kiehl (1979), assinala que um solo ideal para produção agrícola deve apresentar $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de porosidade total, sendo 1/3 macroporos e 2/3 microporos.

2.3.3 Efeitos Sobre a Resistência do Solo à Penetração (RP)

A resistência do solo à penetração (RP) tem sido utilizada freqüentemente para avaliação da compactação por ser um atributo diretamente relacionado ao crescimento das plantas e pela sua facilidade e rápida determinação (STOLF, 1991). Segundo Tormena e Roloff (1996), a RP é a melhor forma de se estimar o impedimento mecânico do solo ao crescimento radicular, sendo um indicador sensível da compactação. A RP é fortemente influenciada pelo teor de água, textura, densidade e composição mineralógica do solo, correlaciona-se positivamente com a Ds e negativamente com a umidade (GOMES; PEÑA, 1996).

Resultados experimentais mostram que, em solos fisicamente degradados, a RP é uma das propriedades físicas que, freqüentemente, restringe o crescimento das raízes (TORMENA; ROLOFF, 1996; TORMENA et al., 1998; BEUTLER; CENTURION 2004 a, 2004b; TORMENA et al., 2007), e conseqüentemente a parte aérea das plantas (GUIMARÃES et al., 1997).

Os valores de RP são bastante variáveis e, por causa da influência da umidade do solo, textura, preparo, e manejo do solo, é impreciso fazer comparações na literatura, mesmo em tipos de solo semelhantes (AZEVEDO, 2008). Diversos trabalhos demonstraram que o cultivo contínuo de cana-de-açúcar causa compactação do solo, com

altos valores de RP. Souza et al. (2004), Brito et al. (2006), Iaia et al. (2006) e Souza et al. (2006), encontraram valores máximos entre 3,8 e 5,8 MPa, com diferentes umidades e em diferentes camadas de solo.

Souza et al. (2004), em cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho eutroférico, encontraram valores de RP de 4,4 MPa na camada entre 0,0-0,20 m, e 5,11 MPa, entre 0,20-0,40 m de profundidade, em avaliação feita com umidade gravimétrica média de 0,22 kg kg⁻¹. Em outro Latossolo Vermelho eutroférico, Brito et al. (2006), com umidade do solo variando entre 0,28-0,34 kg kg⁻¹, obtiveram valores de RP de 3,37; 4,5 e 4,37 MPa nas camadas entre 0,0-0,15; 0,15-0,30 e 0,30-0,45 m de profundidade, respectivamente. SOUZA et al. (2006), num Latossolo Vermelho distrófico com umidade gravimétrica média de 0,17 kg kg⁻¹ observou valores entre 1,99-2,3; 2,29-3,77 e 2,77-3,6 MPa, nas camadas entre 0,0-0,15; 0,15-0,30 e 0,30-0,45 m de profundidade, respectivamente.

Iaia et al. (2006), trabalhando em Latossolo Vermelho distrófico Típico, textura argilosa e Latossolo Vermelho Amarelo distrófico Típico, textura média, com 2 e 4 cortes com cana-de-açúcar, utilizando penetrógrafo em amostragens de campo, encontraram que o Latossolo Vermelho distrófico Típico, textura argilosa, apresentou maiores valores de RP na camada entre 0,05-0,20 m de profundidade, com valores máximos entre 3,95-5,79 MPa e decréscimos em profundidade em cana com 2 cortes. Valores inferiores de RP foram encontrados no mesmo solo em cana com 4 cortes. Para o Latossolo Vermelho Amarelo distrófico Típico, textura média, foram observadas camadas compactadas entre 0,15-0,30 m de profundidade, com valores máximos de RP entre 2,38-2,74 MPa na cana com 2 cortes e de 3,18 MPa nos 0,40 m de profundidade na cana com 4 cortes, com decréscimos em profundidade.

Azevedo (2008), trabalhando em Latossolo Vermelho eutroférico com 3 e 4 ciclos da variedade RB 72 454 e sob três manejos do solo, com umidades gravimétricas entre 0,15 e 0,28 kg kg⁻¹ em 2 anos de avaliação, encontraram valores de RP entre 1,5-9,6 MPa; contudo, as plantas não mostraram sintomas de deficiência hídrica ou nutricional, nem desenvolvimento radicular limitado, comum quando existe compactação do solo, contrariando as sentenças de que valores em torno de 2,0 MPa são limitantes para o desenvolvimento das raízes. Segundo este autor, a estimativa ao redor de 2 MPa pode ser limitante se houver uma camada completamente compactada, como em experimentos realizados em vasos; porém, é preciso considerar que o solo, em sua heterogeneidade natural, possibilita fissuras e espaços para o crescimento e colonização das raízes. As profundidades em que ocorreram as maiores resistências foram variáveis, dependendo do sistema de preparo. Nos sistemas de preparo

vertical com escarificação, os maiores valores foram encontrados na camada entre 0,2-0,4 m, diferentemente do que ocorreu com os tratamentos com plantio direto e preparo convencional com gradagem, ambos com as maiores RP entre 0,10-0,20 m originadas pela mobilização realizada pelo preparo e cultivo das soqueiras no preparo vertical.

O sistema de colheita pode influir também na RP. Souza et al. (2005), avaliando o efeito de sistemas de colheita e manejo da cana crua com e sem incorporação da palhada e cana queimada, nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, encontraram que o sistema de cana crua apresentou menores valores para a RP (2,30 MPa) contra 2,81 e 2,50 MPa no sistema cana queimada e cana crua sem incorporação da palhada. Independentemente do sistema de colheita de cana-de-açúcar, houve aumento da RP até 0,30 m, confirmando os dados de Silva et al. (2000), que avaliaram a RP decorrente do tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho.

Na literatura, são encontrados diferentes valores de RP considerados restritivos ao crescimento das raízes das diferentes culturas, mesmo sendo obtidos em diferentes solos e com diferentes metodologias e instrumentos. Grande parte destes limites críticos foram obtidos tendo amostras não deformadas em cilindros ou vasos simulando as condições do solo (BEUTLER CENTURION, 2004a, 2004b; ARAÚJO et al., 2004; BEUTLER et al., 2006; BEUTLER et al., 2007; TORMENA et al., 2007).

Segundo Tormena e Roloff (1996), o valor de 2,0 MPa foi citado por Taylor e Gardner (1963) como impeditivo ao crescimento das raízes de algodão e passou a ser usado, desta forma, por diferentes autores. Tormena et al. (1998) classificaram esse valor como restritivo, mas não impeditivo ao crescimento de raízes. Beutler et al. (2006), em trabalhos feitos em Latossolo Vermelho distrófico com medições de RP em cilindros de 0,03 m de altura e 0,48 m de diâmetro, encontraram que valores de RP entre 2,0 e 3,0 MPa são considerados limitantes à produtividade de soja. Beutler e Centurion, (2004a), em Latossolo Vermelho, textura média (LVd) e Latossolo Vermelho, textura argilosa (LVef), em amostras não deformadas em vasos de PVC, encontraram que o valor de RP limitante à produtividade de grãos de arroz de sequeiro foi de 2,38 e 2,07 MPa, para o LVd e LVef, respectivamente. O valor de 3,5 MPa foi utilizado por Tormena et al. (2007) como limite crítico em Latossolo Vermelho distroférico cultivado por longo prazo sob plantio direto, justificado pela presença de bioporos contínuos e efetivos no solo sob plantio direto.

Tavares Filho et al. (2001), em Latossolo Roxo argiloso sob cultura de milho, com valores de RP de 3,91 e 4,06 MPa no sistema de plantio direto e convencional, respectivamente, encontraram que estes não foram impeditivos ao crescimento radícula,r

mesmo observando deformações nas raízes, devido à possível presença de estruturas que podem permitir a difusão de oxigênio, e também porque as raízes sempre procurarão pontos de menor resistência para seu desenvolvimento.

Blainski et al. (2008) trabalhando em um Latossolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo, encontraram que, em condições de elevada disponibilidade hídrica, correspondentes a umidade na capacidade de campo, a RP constitui-se numa limitação às plantas para D_s superior a $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$ em solos sob citros e a $1,80 \text{ Mg m}^{-3}$ em solos sob culturas anuais.

Beutler et al. (2007) comparando os penetrômetros de impacto, estático de anel dinamométrico e eletrônico de laboratório na avaliação de compactação em Latossolo Vermelho distrófico (LVd), textura média, e Latossolo Vermelho eutroférico (LVef), encontraram maiores níveis de RP atribuídos ao maior conteúdo de argila do LVef, que confere maior coesão entre as partículas e maior RP. Ainda, os valores de RP, apresentaram correlação positiva com a D_s e negativa com o volume total de poros. Segundo Iaiá et al. (2006) os solos mais arenosos estão sujeitos a maior compactação nas maiores profundidades, em virtude da deposição das partículas de menor diâmetro; porém, a RP encontra-se altamente dependente da umidade do solo.

Solos bem estruturados suportam maior secamento sem que a RP possa atingir valores restritivos para o crescimento radicular das plantas. Além disso, a presença de bioporos estáveis e contínuos no solo pode contribuir para a formação de rotas alternativas de baixa RP, possibilitando o crescimento das raízes numa matriz de solo mais densa (BLAINSKI et al. 2008).

Com base no anterior, é evidente que as mudanças nos atributos físicos de solos tropicais sob cultura da cana-de-açúcar, dependem grandemente das características naturais do solo e das práticas de manejo utilizadas durante o tempo de cultura, como o tipo de preparo, intensidade de uso, sistemas de colheita com cana crua ou queimada, e tipo de adubação, dentre outras. Assim mesmo, as principais modificações encontradas estão relacionadas com redução dos teores de CO, degradação estrutural e compactação do solo-evidenciada pelo aumento da D_s -, redução do tamanho dos agregados e da macroporosidade, assim como incremento na RP, sendo estes efeitos mais expressivos em solos de texturas menos argilosas, mostrando a necessidade de estabelecer planos que minimizem o efeito negativo das práticas de manejo nestes solos. No entanto, pode-se evidenciar também, que o cultivo de cana-de-açúcar por longos períodos de tempo pode contribuir para a recuperação

estrutural e de outros atributos físicos, devido aos incrementos de CO pelo enraizamento e melhora no aporte de MO e nutrientes ao solo.

2.4 SISTEMA RADICULAR DA CANA-DE-AÇÚCAR

Entre os fatores de maior importância na relação planta-água-solo estão a arquitetura e a distribuição do sistema radicular das plantas, bem como sua dinâmica de crescimento (VASCONCELOS, 2002). O conhecimento do sistema radicular da cana-de-açúcar permite a utilização adequada das técnicas agronômicas, como espaçamento, local de aplicação dos fertilizantes, operações de cultivo, drenagem dos solos e sistemas de irrigação, controle da erosão, uso de culturas intercalares, entre outras (CASAGRANDE, 1991). O estudo do enraizamento tem sido relegado devido às variabilidades de condições físicas, químicas e biológicas do solo, as quais influenciam a distribuição das raízes. Tais variabilidades podem levar a resultados não representativos do desenvolvimento normal do enraizamento das plantas (VASCONCELOS et al., 2003).

Segundo Köpke (1981), estudos sobre crescimento radicular devem ser feitos a partir da avaliação das características das raízes, como massa, comprimento e área, no tempo e no espaço, em conjunto com os fatores que influenciam a distribuição do sistema radicular, como Ds e porosidade do solo, RP, água e ar disponíveis no solo.

A avaliação das raízes também é pertinente para a compreensão dos efeitos do manejo sobre a parte aérea, pois, como afirmam Guimarães et al. (1997), existe uma interdependência entre as raízes e a parte aérea, ligados ao transporte de água e nutrientes. Entretanto, a relação de crescimento dessas partes pode ser muito variável, de acordo com as condições da planta e do meio ambiente (GUIMARÃES et al., 1997; SMITH et al., 2005).

Segundo Bacchi (1985) e Casagrande (1991), na cana-de-açúcar são descritos três tipos de raízes: 1- raízes superficiais, situadas nos primeiros centímetros de profundidade, responsáveis pela maior parte da absorção de água e nutrientes; 2- raízes de fixação, que são brancas e suculentas, dirigindo-se para baixo com ângulo entre 45 e 60°, em relação à superfície do solo, que têm absorção limitada; e 3- raízes em cordões, mais verticais que os 2 primeiros tipos, que podem absorver água em grande profundidade.

A distribuição das raízes da cana-de-açúcar é similar à de outras gramíneas tropicais, com declínio exponencial de biomassa de raízes em função da profundidade.

Também apresenta considerável variabilidade na sua distribuição, particularmente em resposta à irrigação e impedimentos ao crescimento radicular, como compactação do solo ou alta umidade (SMITH et al., 2005).

Segundo Faroni (2004) e Faroni e Trivelin (2006), a distribuição das raízes no solo é resultado de uma série de processos complexos e dinâmicos, que incluem as interações entre o ambiente, o solo e as plantas em pleno crescimento. Depois do corte da cana-planta, o sistema radicular antigo mantém-se em atividade por algum tempo e, durante esse período, é substituído pelas raízes dos novos perfilhos da soqueira, sendo esse processo lento e gradual. As raízes da soqueira são mais superficiais que as da cana-planta pelo fato de os perfilhos das soqueiras brotarem mais próximos da superfície que os da planta. Pelo mesmo fato, quanto maior o número de cortes, mais superficial o sistema radicular das soqueiras (BACCHI, 1985).

A arquitetura do sistema de raízes da cana-de-açúcar tem alterações tanto entre ciclos quanto dentro de um mesmo ciclo. A cana-planta explora mais intensamente a superfície do solo, enquanto que as soqueiras exploram o solo em maiores profundidades (VASCONCELOS; GARCIA, 2005). Embora a cana-planta apresente menor quantidade de raízes que as soqueiras, sua eficiência de absorção por unidade de superfície é maior, pois apresentam um conjunto de raízes mais novas e mais tenras em relação às soqueiras, as quais têm um sistema de raízes mais velhas e mais lignificadas, cuja manutenção compete com a parte aérea por energia. É muito provável que essa seja uma das causas da queda de produtividade de um corte para o outro (VASCONCELOS; GARCIA, 2005).

Avilan et al. (1978), avaliando a variedade V58-4 em Mollisols, verificaram que a maior concentração radicular ao redor das soqueiras, está na distância entre 0,0-0,35 m, enquanto que a menor concentração radicular está na distância entre 0,35-0,70 m da touceira. Os mesmos autores encontraram que a maior concentração de raízes está na profundidade de 0,30-0,50 m. Fernandes (1985) menciona que 60 a 70% das raízes de cana-de-açúcar estão nos primeiros 0,40 m de profundidade na fase inicial de desenvolvimento da cultura. Já a maior concentração de raízes na horizontal está a 0,30-0,40 m das linhas de cana.

Alvarez et al. (2000), estudando o crescimento de raízes de cana colhida com queima e sem queima, em Latossolo Vermelho distrófico, verificaram que 75% das raízes de cana colhida sem queima situaram-se nos primeiros 0,40 m de profundidade do solo no primeiro ano de análise e 70% das raízes concentraram-se nessa profundidade na avaliação de segundo ano. Já para cana colhida queimada, os valores foram de 72% de raízes nos primeiros 0,40 m no primeiro ano e 68% no segundo ano. De forma geral, na cana crua há

maior acúmulo de raízes em superfície, e na cana queimada, em profundidade, devido à maior umidade em solo coberto com palha, que não estimula o crescimento radicular até camadas mais profundas. Por sua vez, o dessecamento da camada superficial do solo provoca uma readaptação do sistema radicular à procura de umidade em camadas mais profundas.

Sampaio et al. (1987), para as condições do nordeste brasileiro, observaram que 75% da massa radicular da cana-de-açúcar encontra-se localizadas nos primeiros 0,20 m superficiais e 50% a menos de 0,30 m do centro da touceira.

Ball-Coelho et al. (1992) estudando as raízes da variedade CO 997 no nordeste do Brasil, durante 2 ciclos (cana planta e soqueira), em amostras feitas com trado, verificaram que não houve variação consistente da massa total de raízes, aos 450 dias na cana-planta, nem aos 20, 110, 200 e 290 dias na soqueira. A massa seca total de raízes, até 2 m de profundidade, foi em torno de $0,75 \text{ kg m}^{-2}$, em cana planta, e de 0,9 a $1,1 \text{ kg m}^{-2}$, na soqueira.

Ivo (1999), estudando a distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar em solo de Tabuleiro Costeiro sob diferentes preparos, concluiu que a distribuição das raízes no perfil mostra-se diferente entre os preparos, tendo as raízes concentrado na área do sulco de plantio, no preparo convencional raso. Observou, ainda, que o preparo convencional profundo levou ao desenvolvimento mais uniforme das raízes.

Alvarez et al. (2000), em Latossolo Vermelho distrófico, avaliando a distribuição de raízes na variedade SP 70-1143, usando o método do trado cilíndrico, sob sistema de cana queimada e não queimada, com amostragem até 1 m de profundidade, encontrou que, no primeiro ano, a média de massa seca de raízes foi de $0,27 \text{ g m}^{-3}$ para cana crua e queimada; no segundo ano, as médias foram de $0,28 \text{ g m}^{-3}$ para cana crua e $0,23 \text{ g m}^{-3}$ para cana queimada. Ao analisar os resultados das várias épocas de avaliação, foi observado que não houve aumento da massa de raízes proporcional ao tempo, com a quantidade de raízes variando aleatoriamente. Os dados apresentaram grande variabilidade e só no segundo ano foram verificadas diferenças estatísticas, com maior massa seca para a cana queimada colhida manualmente. No mesmo tipo de solo, Vasconcelos et al. (2003) encontraram resultado semelhante, com maior massa de raízes em cana queimada.

Muller (2002), trabalhando em um Nitossolo Vermelho muito argilosos com 12 e 50 anos de cultivo contínuo em cana e em Neossolo Quartzarênico com 5 e 25 anos de cultivo contínuo em cana, encontrou que o crescimento radicular foi melhor nas áreas cultivadas com cana por mais tempo no Neossolo Quartzarênico, onde os valores de densidade de comprimento radicular variaram entre $0,22\text{-}0,51 \text{ cm cm}^{-3}$ e entre $0,31\text{-}1,82 \text{ cm cm}^{-3}$ para as áreas cultivadas por 5 e 25 anos, respectivamente. Por sua vez, no Nitossolo

Vermelho, os valores de densidade de comprimento radicular variaram entre 0,17-1,32 cm cm^{-3} e entre 0,06-0,88 cm cm^{-3} nas áreas cultivadas por 12 e 50 anos, respectivamente, mostrando variabilidade de resposta segundo o tipo de solo.

Paulino et al. (2004), estudando os efeitos da escarificação na pós-colheita de cana-de-açúcar nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho, encontraram que não houve diferença significativa entre os manejos testados (escarificação aos 0,15 e 0,30 m e gradagem na entrelinha) para área e comprimento total das raízes.

Silva et al (2006a), estudando os efeitos de diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar nas propriedades físicas e químicas de um Argissolo Amarelo coeso, encontraram que foi significativo o efeito deste nos valores de matéria seca de raízes da cana-de-açúcar. O solo que recebeu vinhaça apresentou os maiores valores nas camadas entre 0,0-0,20 e entre 0,20-0,40 m, em relação aos solos sob os sistemas sequeiro e irrigado. O maior desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar no solo com vinhaça reflete a melhor condição química que este resíduo proporciona. A matéria seca de raízes correlacionou-se positivamente com os atributos químicos Ca ($r=0,95^*$), Mg ($r=0,88^{**}$) e K ($r=0,61^*$). No mesmo trabalho, os autores encontraram que, em média, 98% da matéria seca de raízes da cana-de-açúcar estão nos primeiros 0,40 m de profundidade. Os maiores valores de alumínio trocável na camada entre 0,40-0,80 m contribuíram para o menor crescimento do sistema radicular nesta camada. A matéria seca de raízes correlacionou-se negativamente com o teor de Al ($r=-0,61^*$).

Azevedo (2008), trabalhando em Latossolo Vermelho eutroférico com 3 e 4 ciclos da variedade RB 72 454 e sob três manejos do solo, não encontrou diferença estatística entre os tratamentos. Segundo o autor, a cana-de-açúcar mantém quantidade de raízes pouco mutável durante o ciclo. No quarto ciclo, as plantas apresentaram até 2700 m m^{-2} de raízes, com massa seca entre 169 e 286 g m^{-2} no perfil até 0,60 m. As raízes vivas e ativas (tenras e com exsudados) alcançaram 4,3 m de profundidade. Essa avaliação revelou que a cana-de-açúcar explora um grande volume de solo; e que a profundidade máxima das raízes, superior a 4 m, possibilita que as plantas tenham acesso às reservas de água, provavelmente, inatingíveis para culturas anuais. Isso indica que a cana-de-açúcar pode, comparativamente às culturas anuais, suportar melhor os períodos de restrição de água no solo e recuperar nutrientes lixiviados.

No mesmo trabalho, Azevedo (2008) encontrou valores médios entre 0,07 e 1,10 cm cm^{-3} e entre 0,05 e 0,99 mg cm^{-3} para densidade de comprimento e densidade de massa seca de raízes, respectivamente, entre 0,0 e 1,80 m de profundidade, sem diferenças

estatísticas entre os manejos do solo. O autor observou que 60% do comprimento e da massa seca de raízes encontravam-se nos primeiros 0,60 m de profundidade. O valor médio estimado da massa seca de raízes foi de $0,29 \text{ mg cm}^{-3}$, com decréscimos em profundidade.

Segundo os dados discutidos anteriormente, não há um padrão definido para a distribuição de raízes da cana-de-açúcar nos diferentes solos, em razão das inúmeras variedades e das condições do ambiente de produção, como as características de clima, umidade e fertilidade do solo. A variabilidade no tamanho do sistema de raízes e a máxima densidade de raízes é grande, sendo muito difícil diferenciar efeitos de genótipo e de ambiente na quantidade de raízes e, por conseguinte, estabelecer objetivos claros relacionados com as raízes dentro de programas de melhoramento.

2.4.1 Desenvolvimento de Raízes e Condições do Solo

Condições desfavoráveis do solo, restritivas ao desenvolvimento de raízes, constituem a razão mais comum pelas quais as culturas não conseguem expressar todo seu potencial genético de produtividade. As condições desfavoráveis podem ser de origem química, física ou biológica (COSTA, 2007).

A estrutura do solo regula a aeração, o suprimento de água, a penetração das raízes, a disponibilidade de nutrientes, a atividade biológica e a temperatura do solo. Excluindo-se as fissuras, os macroporos e poros biológicos, os quais formam nichos para o crescimento das raízes, a alongação radicular só é possível quando a pressão radicular é maior que a impedância mecânica. Além disso, existem outros fatores inter-relacionados que influem no crescimento radicular, como a continuidade dos macroporos, a oxigenação do solo e a quantidade de água disponível (PASSIOURA, 1991).

A compactação do solo reduz a macroporosidade e aumenta a D_s , o que, em condição de solo seco, resulta em maior resistência ao crescimento das raízes e decréscimo no potencial mátrico de água e, em condição de solo úmido, gera falta de oxigênio (MARSCHNER, 1995). Como resultado dessas alterações, as raízes podem sofrer modificações morfológicas e fisiológicas adaptando-se para cumprir seu papel de absorção de água e nutrientes.

A redução na infiltração de água, causada pela compactação do solo, faz com que as raízes se desenvolvam superficialmente (ROSOLEM et al., 1994). Em solos onde

as raízes finas podem explorar canais radiculares e fissuras existentes, culturas com raízes fasciculadas são menos afetadas que aquelas com raiz pivotante. Entretanto, raízes de maior diâmetro apresentam maior resistência ao encurvamento, quando penetram solo compactado, sendo este fato de grande importância em solos deficientes em macroporos, onde as raízes precisam mais deformar o solo do que explorar fissuras (WHITELEY; DEXTER, 1982).

Avilan et al. (1977) mencionam que, entre os fatores que mais afetam o sistema radicular da cana-de-açúcar, estão o nível do lençol freático, o impedimento mecânico e as características químicas do solo. Avilan et al. (1978), avaliando a variedade V58-4 em Mollisol, verificaram que na profundidade entre 0,25 e 0,5 m, a macroporosidade reduzida restringiu a penetração radicular.

Segundo Humbert (1974), D_s maiores que $1,02 \text{ Mg m}^{-3}$ causam deformações ou restrições na distribuição de raízes de cana-de-açúcar; D_s de $1,25 \text{ Mg m}^{-3}$ causam danos nas radículas; D_s de $1,36 \text{ Mg m}^{-3}$ reduzem a quantidade de raízes e causam distorção nas radículas; e D_s maiores do que $1,46 \text{ Mg m}^{-3}$ comprometem a penetração das raízes no solo (apud COSTA, 2005). Queiroz-Voltan et al. (1998) verificaram que D_s de $1,23 \text{ Mg m}^{-3}$ não provocou alterações histológicas significativas em raízes de cana-de-açúcar; porém, seus efeitos devem ser relacionados a outros fatores, como textura, porosidade, umidade do solo e variedade (CASAGRANDE, 1991).

Segundo Fernandez et al. (1983) níveis de macroporosidade entre 0,15-0,25 $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ são considerados como uma condição física do solo ótima para a cana-de-açúcar, razão pela qual a cultura se comporta bem, produtivamente, em solos arenosos, desde que sejam fornecidos água e nutrientes nas proporções necessárias.

Como indicado anteriormente, a literatura reporta diferentes valores críticos de RP para o crescimento das raízes. Normalmente, a resistência mecânica do solo causa aumento no diâmetro das raízes na camada adensada (MATERECHERA et al., 1992), e pode originar a proliferação de raízes laterais mais finas (RUSSEL; GOSS, 1974).

Para um melhor entendimento dos efeitos da compactação sobre o sistema radicular, precisa-se de metodologias como do perfil cultural, que possibilita a descrição morfológica das estruturas que conformam o perfil e a localização das limitantes físicas presentes para o crescimento das raízes, especialmente quando acompanhadas das análises quantitativas. Desta forma, é possível relacionar e explicar com maior clareza os efeitos originados pela compactação sobre o crescimento radicular e o desenvolvimento das culturas (TAVARES FILHO et al., 2001).

2.5 PERFIL CULTURAL COMO FERRAMENTA NO ESTUDO DO SOLO

A análise morfológica dos solos pelo método do perfil cultural é uma técnica gerada por pesquisadores franceses (HENIN et al., 1960; MANICHON, 1982; GAUTRONNEAU; MANICHON, 1987), utilizada inicialmente como ferramenta pedagógica para o ensino, transformando-se, posteriormente, num método de caracterização dos estados dos horizontes antropizados, levando em conta o modo de organização dos torrões e o estado interno destes (TAVARES FILHO et al., 1999).

Segundo Tavares Filho et al. (1999), o perfil cultural é um método qualitativo, que permite fazer diagnósticos do estado estrutural do solo no campo, levando em conta a heterogeneidade do meio físico trabalhado. O método é fundamentado no estudo da morfologia do solo e consiste na delimitação dos volumes antropizados distintos, tanto em profundidade quanto lateralmente, a partir de critérios como forma, tamanho e distribuição dos elementos estruturais, presença ou ausência de poros visíveis a olho nu, continuidade destes, e forma e dureza de agregados e torrões.

Em essência, o método do perfil cultural pode servir para o diagnóstico qualitativo do estado físico do solo, à descrição da sua organização estrutural, à visualização de interações físico-químico-biológicas e a estudos de mecânica de solo e de desenvolvimento radicular sob diferentes tipos de manejo (RALISCH et al., 1994; RALISCH, 1995; RALISCH et al., 1995; TAVARES FILHO et al., 1999; TAVARES FILHO et al., 2001; FREGONEZI et al., 2001; NEVES et al., 2003). Dada sua facilidade relativa de execução, o perfil cultural associado a alguns indicadores de qualidade física dos solos, permite ser replicado nas mais diversas situações, dando boas indicações do nível de sustentabilidade do sistema de manejo em uso.

Numa primeira etapa, estuda-se o modo de organização do perfil considerado, diferenciando-se os volumes de solo visualmente alterados pelo manejo agrícola (AM) do visualmente não alterado pelo manejo agrícola (NAM), para descrever, posteriormente, cada tipo de organização dos volumes de solo afetados pelo manejo com a maior riqueza de detalhes possível. Numa segunda fase, descreve-se o estado interno dos torrões presentes nos diferentes modos de organização do volume de solo mobilizado. Nessa descrição, consideram-se a estrutura dos agregados, a porosidade, a estabilidade em água, a coesão a seco, as faces de ruptura e o enraizamento (TAVARES FILHO et al., 1999).

Além de diagnósticos, o método do perfil cultural oferece outras possibilidades de utilização, como orientação na amostragem do solo, levando em consideração suas diferenças espaciais, auxílio no estudo dos efeitos de máquinas e implementos agrícolas no solo, facilidade na visualização das interações físicas, químicas e biológicas dos solos, e meio de auxílio no estudo do sistema radicular (TAVARES FILHO et al., 1999; TAVARES FILHO et al., 2001).

Tavares Filho et al. (1999), em área de cana-de-açúcar sob Terra Roxa Estruturada, observaram, com o auxílio do perfil cultural, que a compactação estava presente, com estruturas principalmente do tipo Z na área de rodado das máquinas, e C praticamente por todo o perfil. Nos sulcos de plantio, foram notadas estruturas livre (L), com torrões relativamente grandes ($> 0,10$ m), mais ou menos compactos (μ), entre os quais as raízes se desenvolveram preferencialmente. Os resultados obtidos neste trabalho, concordam com os de Medina (1993) que, estudando o efeito da aplicação de vinhaça e gesso em cultura de cana-de-açúcar sobre as características do solo, observou que a aplicação de vinhaça pode ocasionar a compactação, com estruturas principalmente do tipo C ou F, quando ocorreu intenso tráfego de máquinas.

2.6 EFEITO DO MONOCULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR NOS ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO

São amplas as referências que mostram alterações significativas quando ecossistemas naturais com florestas (CERRI et al., 1991; HOLT; MEYER, 1998; BLAIR et al., 1998) ou pastagens (BLAIR et al., 1998) são removidas para o estabelecimento de cultivos. Pesquisas desenvolvidas na cultura de cana-de-açúcar plantada em diferentes solos do mundo e sob diferentes condições climáticas, mostram mudanças significativas da biomassa microbiana (HOLT; MAYER, 1998), CO e carbono lábil (CL) (BLAIR et al., 1998; HOLT; MAYER 1998; SUMAN et al., 2006; ROBERTSON; THORBURN, 2007a, 2007b), respiração basal (HOLT; MAYER, 1998), quociente metabólico (SUMAN et al., 2006) e nitrogênio do solo (ROBERTSON; THORBURN, 2007a, 2007b), principalmente em solos cultivados por longos períodos de tempo em forma de monocultura.

As alterações impostas a um ambiente natural pela remoção da vegetação nativa, provocam modificações significativas na dinâmica da MO do solo; além disso, os

estoques de CO e CL são afetados diretamente pelos distintos sistemas de manejo de solo, práticas culturais, clima, cultura e sistemas de preparo (BLAIR et al., 1998; SÁ, 2001; DOMINY et al., 2002). A alta correlação existente entre CO e CL (BLAIR et al., 1998; SKJEMSTAD et al., 1999; LODGE; KING, 2006), permite evidenciar que fatores que afetam o CO também podem influenciar o CL presente nos solos.

O revolvimento do solo promove perdas de CO causadas pela destruição dos macroagregados e exposição da MO ao ataque microbiano, resultando numa elevada decomposição do CO (SIX et al., 2000) e o conseqüente fluxo de CO₂ para a atmosfera (BAYER et al., 2000; Sá, 2001). Sobre este aspecto, Bayer (1996) mostra que a elevação da taxa de decomposição da MO resultante do manejo convencional (com lavração e gradagem) pode liberar para a atmosfera mais de 50% do CO presente no solo.

As entradas da MO nos solos sob cultura de cana-de-açúcar, são menores que as obtidas com floresta nativa ou pastagens, devido em parte à prática da queima antes da colheita (BLAIR et al., 1998; ROBERTSON; THORBURN, 2007a, 2007b; LUCA et al., 2008), assim como à extração de biomassa seca do local através da retirada dos colmos da cana para a indústria. Segundo Mitchell et al. (2000), no sistema de cana queimada, mais de 70% da MO e dos nutrientes nos resíduos são perdidos para a atmosfera. Inversamente, com a retenção dos resíduos, os nutrientes e a MO podem acumular-se no solo. As principais entradas da MO sob sistema de manejo de cana queimada são, provavelmente, provenientes das raízes (SILVA; RIBEIRO, 1998; AZEVEDO, 2008).

Segundo Arrouays et al. (1995), as perdas de CO com culturas são, geralmente, exponenciais, sendo mais rápidas durante os primeiros 10-20 anos, a seguir mais lentas, com um novo equilíbrio aos 50-60 anos; entretanto, a escala de tempo varia com o clima e o tipo do solo. Dominy et al. (2002), trabalhando em um Ochric Cambisol com 180 g kg⁻¹ de argila e um Rhodic Ferralsol com 620 g kg⁻¹ de argila, plantados em forma consecutiva com cana por 30 e mais de 50 anos, provenientes de floresta nativa e pastagens, respectivamente, observaram um declínio no CO decorrente do tempo de uso sob cultura da cana-de-açúcar. O CO, nos dois solos, com vegetação não perturbada, encontrava-se em 50 g kg⁻¹ e declinou para 17 e 33 g kg⁻¹ no Ochric Cambisol e no Rhodic Ferralsol, respectivamente, após de 20 anos de cultivo. Contudo, os autores observaram que, após 50 anos de plantio, o Ochric Cambisol alcançou um novo equilíbrio de CO próximo de 18 g kg⁻¹.

Silva e Ribeiro (1998) avaliando o uso contínuo de cana-de-açúcar nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo argiloso, encontraram decréscimo significativos do teor de CO (19,8 a 13,7 g kg⁻¹) nos 2 primeiros anos de estabelecimento da

cultura e recuperação aos 18 e 25 anos, com teores de CO semelhantes aos do solo virgem (19,15 e 17,0 g kg⁻¹, em média para os horizontes A e AB, respectivamente).

Trabalhos feitos por Robertson e Thorburn, (2007a, 2007b), no norte da Austrália, em vários solos sob diferentes condições climáticas, avaliando os sistema de cana queimada e cana crua sobre os estoques de CO e N no solo, encontraram que os efeitos sobre o CO variaram entre experimentos, onde o tempo de uso foi o fator que mais determinou os resultados. Assim, os experimentos com 1 ou 2 anos sob cultivo contínuo em cana-de-açúcar, não mostraram efeitos significativos sobre o CO nos tratamentos com cana crua e cana queimada; porém, nos experimentos entre 3 e 5 anos de cultivo o CO foi inferior em até 21% no tratamento sob cana queimada em comparação aos teores obtidos no tratamento de cana crua, na profundidade entre 0,10-0,25 m, sendo este efeito maior nos primeiros 0,05 m de profundidade.

Pesquisas feitas por Blair et al. (1998) em solos da Austrália (Typic Tropaquept) e do Brasil (Latosolo Vermelho Amarelo podzólico), comparando tratamentos de cana queimada e sem queima com floresta nativa e pastagens de 20 anos, encontraram que, nas localidades com cana na Austrália, as concentrações de CO (37,4 mg kg⁻¹) e CL (7,1 mg kg⁻¹) foram mais baixas na superfície (0,0-0,01 m) dos solos avaliados em comparação com solos de floresta (45,4 mg kg⁻¹) e pastagens (33,2 mg kg⁻¹). A queima da cana resultou em maiores perdas de CO (13,6 mg kg⁻¹) e CL (1,6 mg kg⁻¹) na profundidade de 0,0-0,01 m comparado com o manejo de cana sem queima. Para as localidades no Brasil, não foram observadas variações no CO nos tratamentos com cana e sem queima, mas se encontraram incrementos no CL. Os autores concluíram que um sistema sustentável de cana-de-açúcar, deve incluir o retorno do resíduo da colheita, sem queima, a fim de manter um ciclo ativo de C no sistema e controlar a dinâmica de nutrientes.

Comparativamente ao CO, o CL é rapidamente alterado por mudanças no manejo do solo (BAYER et al.; 2001) devido, principalmente à maior taxa de reciclagem dos constituintes orgânicos. No Rio Grande do Sul, Bayer et al. (2001), em 9 anos de observação, verificaram aumentos no estoque de CL de 221% no solo sob plantio direto comparado ao solo sob plantio convencional. Lodge e King (2006), trabalhando com pastagens após quatro anos de implantação em Novo Gales, observaram valores de 21,60% de CL com respeito a CO do solo. Segundo Shang e Tiessen (1997), em regiões temperadas, o CL pode representar entre 25 e 50% do CO.

Na cultura da cana-de-açúcar, Skjemstad et al. (1999), trabalhando em Inceptisols, Entisols e Alfisols de Austrália cultivados em forma contínua com cana (1 e > 30

anos), observaram poucas mudanças no CL entre os diferentes períodos de uso. Ligeiros incrementos de CO no perfil de solo sugeriam maior humificação da MO em solos cultivados com cana por longos períodos (>30 anos); porém, este incremento de CO foi associado à presença da palha da cana-de-açúcar e madeira das florestas antigas.

A textura do solo encontra-se associada aos estoques de CO e CL, assim como de outras características como a biomassa microbiana e sua dinâmica no solo. Trabalhos feitos por Spain (1990) e Dominy et al. (2002), encontraram correlações lineares entre a textura do solo e o CO. Assim, os resíduos culturais adicionados ao solo se decompõem mais rapidamente em solos arenosos do que em solos argilosos (LADD et al., 1985), de modo que os solos argilosos, geralmente, contêm mais CO que os solos arenosos. Schimel et al. (1985) e Spain (1990), demonstraram uma correlação positiva entre o CO do solo e o índice da argila devido, à adsorção de moléculas orgânicas em superfícies minerais da argila, que fornece um mecanismo da estabilização de CO contra o ataque microbiano (LADD et al., 1996).

O CO é fonte de energia para os microrganismos além de nutriente para microrganismos e plantas. Seu teor no solo está diretamente relacionado com a atividade biológica, que pode ser utilizada como indicadora da degradação ou recuperação do solo. Em áreas tropicais e subtropicais úmidas, as entradas de CO no solo proveniente da agricultura são, geralmente, menores do que na floresta nativa. Dessa forma, a quantidade e a diversidade de compostos de CO utilizados pelos microrganismos como fonte de energia são menores, o que pode alterar os ciclos biogeoquímicos no solo (NOGUEIRA et al., 2006).

2.6.1 Biomassa Microbiana do Solo (BMS)

A biomassa microbiana do solo (BMS) é definida como a parte viva da matéria orgânica do solo, composta por todos os organismos menores que $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$, como fungos, bactérias, actinomicetos, leveduras e outros componentes da microfauna (SMITH; PAUL, 1990). A BMS representa uma fonte e um dreno de CO, sendo responsável pelo fluxo de nutrientes entre a atmosfera e o sistema solo-planta (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002), podendo responder mais rapidamente a mudanças nos padrões de entrada ou níveis de decomposição da MO que a mesma MO como um todo (POWLSON et al., 1987; HUNGRIA et al., 1995; BALOTA et al., 1998).

Cerca de 2 a 5% do CO e de 1 a 5% do N orgânico em solos tropicais, estão associados à BMS (SMITH; PAUL, 1990; SPARLING, 1992). Contudo, a relação entre carbono da biomassa microbiana (CBM) com o CO -CBM/CO-, abrange amplo espectro, variando de 0,27 a 7,0% (ANDERSON; DOMSCH, 1989). Em razão da atividade e diversidade dos microrganismos no solo dependerem de uma série de fatores, tais como umidade, temperatura e manejo de resíduos, entre outros, esta fração pode ser utilizada como índice de aferição da sustentabilidade do sistema (DE-POLLI; GUERRA, 1999). Além disso, o CO associado à BMS representa um dos compartimentos da MO com menor tempo de ciclagem, o que o torna sensível à mudança de sua qualidade, sendo proposto como um indicador das mudanças da MO (TÓTOLA; CHAER, 2002).

A conversão de sistemas de floresta para área agrícola resulta, na maioria dos casos, em uma diminuição de CO, CBM e Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM). Trabalhos feitos por Henrot e Robertson (1994), realizando medições do CO em dois solos úmidos do trópico, permitiram observar uma diminuição de 20% de CBM e NBM depois de três anos da remoção da floresta nativa. Entre os fatores responsáveis por condições mais favoráveis à biomassa microbiana nas áreas sob vegetação nativa, destacam-se a ausência de preparo do solo, maior diversidade florística, preservação das hifas fúngicas e o acúmulo da serrapilheira na superfície do solo (propiciando a ocorrência de menor variação e de níveis mais adequados de temperatura e umidade). A ausência de revolvimento do solo também resulta em maior presença de raízes, as quais aumentam a entrada de substratos carbonados no sistema, via exsudados radiculares (BOPALAH; SHETTI, 1991).

A população microbiana do solo responde rapidamente às mudanças como tipos de solo e práticas culturais (POWLSON et al., 1987). Aplicações de pesticidas e fungicidas utilizados no manejo da cultura de cana-de-açúcar afetam a BMS, que pode ser usado como um indicador da sustentabilidade de um ecossistema. Segundo Sidras e Pavan (1985), a BMS é influenciada pelos ambientes e manejos do solo, assim como pela sua fertilidade. Holt e Meyer (1998) sugerem que variações em tamanho e atividade da BMS encontram-se relacionadas diretamente com o aporte de nutrientes do solo e o crescimento das plantas. Por sua vez, Nayak et al. (2007) mostram que a BMS aumenta com o aumento do teor de CO no solo, mas diminui em áreas agrícolas não adubadas, devido ao inadequado suprimento de nutrientes, o que pode influenciar diretamente a comunidade microbiana ou indiretamente pela baixa rizodeposição de plantas mal nutridas, prejudicando os microrganismos rizosféricos.

O declínio no CBM com a diminuição do CO é um fenômeno comum na cultura da cana (HOLT; MEYER, 1998; DOMINY et al., 1998; SUMAN et al., 2006) indicando que quando o CO do solo é perdido, este pode suportar uma menor biomassa microbiana.

O processo de queima anual da palha da cana-de-açúcar e outros resíduos reduzem não somente o CO, mas pode também reduzir a atividade microbiana e conseqüentemente, a imobilização de N aplicado. Biederbeck et al. (1980) sugeriram um declínio imediato de 95% na população de fungos e de 70% na população bacteriana nos tratamentos com queima de resíduos.

Pesquisas desenvolvidas por Holt e Mayer (1998) em diferentes classes de solos da Austrália, plantados com diferentes tempos de uso em cana-de-açúcar (19 e 50 anos), mostraram diminuição significativa de CBM, CO, e respiração basal, principalmente em solos cultivados por maior período de tempo em forma de monocultura.

Em seus trabalhos, Dominy et al. (2002) encontraram que a perda de CO sob cana-de-açúcar, resultou em um declínio do CBM, assim como da respiração basal e da estabilidade de agregados do solo. Os teores iniciais de CBM na vegetação nativa estiveram próximos de 1100 mg kg^{-1} ; após 20-30 anos de uso contínuo com cana, foram observados teores de 490 mg kg^{-1} para o Rhodic Ferrasol e de 290 mg kg^{-1} no Ochric Cambisol, encontrando-se um novo equilíbrio no Ochric Cambisol. Os autores encontraram que a CBM apresentou mudanças mais rápidas e foi afetada de forma mais acentuada que o CO. Por sua vez, Suman et al. (2006), trabalhando em cana-de-açúcar e cultivos intercalados, encontraram que o CBM representou entre 2,7 e 3,3% do CO do solo.

2.6.2 Respiração Basal

Além da população microbiana, a atividade dos microrganismos é outro importante atributo a ser destacado, e pode ser medida, segundo De Polli e Guerra (1999), em termos metabólicos por meio de indicadores como CO_2 evoluído, O_2 absorvido, atividades enzimáticas e caloríficas, e em razão das quantidades de N, P e S mineralizados, sendo a respiração dos microrganismos um dos indicadores biológicos mais utilizados para avaliação do comportamento da BMS.

A respiração basal está estreitamente relacionada com a BMS (BALOTA et al., 1998; DOMINY et al., 2002; NOGUEIRA et al., 2006). Mudanças no solo, originadas por cobertura, preparo do solo, manejo, clima, tratos culturais, entre outros, afetam diretamente a respiração basal. Por tal razão, os valores de respiração basal são bastante variados.

Insam et al. (1991), analisando amostras provenientes de solos cultivados com a mesma cultura por até 77 anos, observaram que a respiração basal variou de 8,40 a 33,60 $\mu\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de C-CO₂ no solo. Rodrigues et al. (1994) constataram que a respiração basal, em solos coletados sob condição tropical, variou de 6,3 a 20 $\mu\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de C-CO₂. Balota et al. (1998), avaliando rotações de culturas anuais, encontraram valores entre 2,7-18 $\mu\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de C-CO₂ em plantio convencional e entre 3,43-7,54 $\mu\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de C-CO₂ para plantio direto. Nogueira et al. (2006) avaliando diferentes sistemas de produção, encontraram valores entre 1,7-4,2 $\mu\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de C-CO₂.

Suman et al. (2006), trabalhando em cultivos intercalados com cana-de-açúcar, encontraram valores de respiração basal entre 19 e 30 $\mu\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de C-CO₂. Pesquisas desenvolvidas por Holt e Mayer (1998) em cana-de-açúcar, mostraram diminuição significativa da respiração basal, principalmente em solos cultivados por maior período de tempo em monocultura, relacionando-as com a diminuição do CO e da BMS.

Dominy et al. (2002) encontraram valores de 5 e 10 ($\mu\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de C-CO₂) no Ochric cambisol com 180 g kg⁻¹ de argila e de 8 a 25 ($\mu\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de C-CO₂) para o Rhodic Ferrasol com 620 g kg⁻¹ de argila. Foram observadas correlações positivas de CO e respiração basal ($r = 0,82$) para os dois tipos de solos. Sobre este aspecto, Ladd et al. (1996) observaram que solos com um índice mais elevado da argila tendem, geralmente, a ter níveis microbianos da biomassa elevados. Isto pode ser atribuído a vários mecanismos, mas o principal parece ser a habilidade da argila de reter a MO do solo e, conseqüentemente, a BMS (WARDLE, 1992).

2.6.3 Quociente Metabólico ($q\text{CO}_2$)

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) é uma medida da atividade metabólica específica da BMS, a qual corresponde à quantidade de C-CO₂ liberada por unidade de CBM em um determinado tempo, tendo sido proposto por Anderson e Domsch (1990) como uma medida das variações existentes na atividade microbiana do solo.

Alguns autores sugerem que o $q\text{CO}_2$, tende a ser elevado nos solos jovens e em solos recentemente perturbados e baixo em ecossistemas nativos de pastagens e de floresta (sistemas mais estáveis), porque, quando o solo encontra-se próximo a uma condição de equilíbrio, torna-se mais eficiente em conservar o C (INSAM; DOMSCH, 1988), porém, outros autores como Wardle e Ghani (1995) concluíram que, embora as culturas apresentassem um distúrbio severo, o $q\text{CO}_2$ não foi afetado com esta perturbação.

Anderson e Domsch (1993) consideram que altos valores do $q\text{CO}_2$ representam uma alta energia demandada pelos microorganismos para sua manutenção e sobrevivência, devido a um ineficiente metabolismo causado por algum tipo de estresse. Insam et al. (1991), em experimentos submetidos ao mesmo tratamento por 77 anos, verificaram que tanto o preparo quanto o manejo do solo alteraram o $q\text{CO}_2$; foram encontradas correlações entre o $q\text{CO}_2$ e as condições químicas do solo. Os tratamentos que receberam quantidade de fertilizantes reduzida ou limitada apresentaram maior $q\text{CO}_2$, comparados aos que receberam quantidades adequadas de fertilizantes.

Balota et al. (1998), avaliando a BMS e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas em Latossolo Vermelho, encontraram que os valores do $q\text{CO}_2$, medido em $(\mu\text{g CO}_2/\mu\text{g C}_{\text{min}} \text{ h}^{-1} \times 10^{-4})$, variaram de 3,32 a 15,90, para o plantio convencional (PC), e de 4,13 a 9,31, para o plantio direto (PD). De modo geral, a prática do PD proporcionou menor $q\text{CO}_2$ que o apresentado pelo PC nas sucessões, em todas as amostragens. O valor médio total do $q\text{CO}_2$ no PD foi 28% inferior ao do PC.

Nogueira et al. (2006), avaliando indicadores biológicos em sistemas de áreas agrícolas e não perturbadas, não encontraram diferenças entre eles. Os valores de $q\text{CO}_2$ variaram de 24 a 57 $\text{g CO}_2\text{-C } \mu\text{g biomassa C h}^{-1}$. Resultados similares foram encontrados por Suman et al. (2006), avaliando diferentes culturas intercaladas com cana-de-açúcar em Udic Ustochrept, na Índia.

2.6.4 Relação CBM/CO (Quociente Microbiano) e CBM/CL

As alterações na BMS podem também ser analisadas pela relação CBM/CO (quociente microbiano $q\text{MIC}$). Tal relação expressa o tamanho do compartimento do carbono microbiano em relação ao compartimento CO do solo. Solos que exibem valores maiores ou

menores poderiam expressar a ocorrência, respectivamente, de acúmulo ou perda de C do solo (JENKINSON; LADD, 1981).

Insam e Domsch (1988) observaram maior sensibilidade da BMS às mudanças iniciais do conteúdo de CO, descrevendo a relação CBM/CO como um importante índice de alteração dos ecossistemas, uma vez que, segundo Wardle (1994), sob condições de estresse, há diminuição na capacidade da BMS em utilizar o CO. Assim, a relação CMB/CO parece ser boa indicadora das alterações na MO em função do manejo do solo (INSAM; DOMSCH, 1988; INSAM, 1990; INSAM et al., 1991; SPARLING, 1992; ANDRADE et al., 1995; BALOTA et al., 1998). Entretanto, tais relações podem necessitar de interpretações locais, em virtude dos vários fatores ambientais que as estariam influenciando (SPARLING, 1992).

Insam (1990), estudando áreas com várias culturas, observaram variação de 0,6 a 3,74% na relação CBM/CO; Andrade et al. (1995), num experimento de cafeeiro, observaram que a relação CBM/CO variou de 1,7 a 8,9%, conforme a aplicação de calcário. Anderson e Domsch (1989) encontraram valores de 2,3% para monoculturas, e 2,9% para sistemas em rotação de culturas e citam 2,2% como sendo o nível no qual estaria ocorrendo equilíbrio em parcelas cultivadas. Entretanto, para outros autores, essas relações estariam entre 1,8 e 2,1%, para parcelas cultivadas com monoculturas permanentes (BROOKES et al., 1984), e entre 2,5-3,3%, para áreas com rotação de culturas permanentes (McGILL et al., 1986).

Suman et al. (2006) trabalhando em cana-de-açúcar e cultivos intercalados, encontraram que o CBM representou entre 2,7 a 3,3% do CO do solo. Lodge e King (2006), trabalhando com pastagens após quatro anos de implantação observaram que a CBM foi 10,35% do CL, sem diferença sobre os tratamentos de solo nativo com pastagens natural.

As mudanças na relação CBM/CO refletem o padrão de entrada de MO nos solos, a eficiência da conversão do CBM, as perdas do C do solo e a estabilização do CO pela fração mineral do solo (SPARLING, 1992). O nível da relação CBM/CO pode indicar se o carbono está em equilíbrio, se está acumulando ou diminuindo (ANDERSON; DOMSCH, 1989). Por tal razão, pode ser considerado como um bom indicador das mudanças na atividade biológica dos solos.

Com base nos anteriores resultados, pode-se indicar que os atributos microbiológicos relacionados ao carbono em solos tropicais sob cultura da cana-de-açúcar, são afetados pelas práticas culturais e manejos realizados na cultura, como adubações minerais e orgânicas, aplicação de pesticidas, tempo de uso do solo, sistemas de colheita, uso

de escarificadores, dentre outros, podendo ser utilizados como bioindicadores da qualidade do solo, permitindo inferir sobre sua capacidade de suportar a comunidade vegetal. Contudo, fica evidente a pouca quantidade de trabalhos feitos nesta área para a cultura da cana-de-açúcar em solos brasileiros, indicando um campo de trabalho muito importante na procura da sustentabilidade do sistema de produção desta cultura.

3 ARTIGO A: ATRIBUTOS QUÍMICOS DE LATOSSOLOS VERMELHOS COM CULTIVO CONTÍNUO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO NORTE DO PARANA

3.1 Resumo

As práticas de manejo da cultura da cana-de-açúcar originam mudanças nos atributos químicos do solo. Foram avaliados os efeitos do cultivo contínuo com cana-de-açúcar nos atributos químicos, em três profundidades (0,0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40 m), de um Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) A moderado muito argiloso, proveniente da rotação soja-trigo-milho, cultivado em forma contínua com cana-de-açúcar com 16, 10, 8, 3 e 1 cortes, e um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) A moderado textura média, proveniente de pastagens, cultivado em forma contínua com cana-de-açúcar com 7, 6, 3, 2 e 1 cortes e comparados com solos de floresta nativa, no norte do estado do Paraná. Os resultados permitiram observar mudanças entre a vegetação nativa e a cultura de cana-de-açúcar, caracterizadas pela diminuição de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT), por efeito do desmatamento nos dois solos. No LVef, foram observados decréscimos nas bases trocáveis, na CTC e nos teores de Fe, Cu e Zn e incrementos da acidez do solo decorrentes do tempo de cultivo. Ao contrário, no LVd, o tempo de cultivo incrementou as bases trocáveis, a CTC e os teores de P, Mn e diminuiu os teores de Fe, Cu, e B, principalmente na camada de 0,0 a 0,10 m, com incrementos da acidez do solo. Pode se inferir que houve diminuição da fertilidade nos solos eutroféricos e aumento desta nos distróficos pela ação das práticas culturais adotadas na cultura.

Palavras Chave: *Saccharum* spp, cana queimada, fertilidade, monocultivo.

CHEMICALS ATRIBUTES OF OXISOLS WITH CONTÍNUO SUGAR CANE CULTIVATION IN THE NORTH OF PARANA STATE

Abstract

The management practices of the crop of sugar cane causes changes in chemical attributes of soil. There were evaluated the effects of continuous cultivation with sugar cane in the chemical attributes in three depths (0,0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 m), of Rhodic Eutrudox very clayey texture (LVef), proceeding from the rotation soybean-wheat-corn, grown in a continued way with sugar cane by 1, 3, 8, 10 and 16 slashes and a Rhodic Hapludox medium texture (LVd) from pasture, grown in a continued way with sugar cane with 1, 2, 3, 6 and 7 slashes and compared with native forest soil in the north of the estate of Parana. The results showed significant changes observed between the native vegetation and the cultivation of sugar cane characterized by the decrease in organic carbon (OC) and total nitrogen (TN), witch was a effect of deforestation in both soils. In LVef, were observed decreases in exchangeable bases, CEC, and the contents of Fe, Cu and Zn and increasing soil acidity resulting from the time of cultivation. On the contrary, the time of cultivation in LVd increased the exchangeable bases, the CEC, the levels of P, Mn and decreased the levels of Fe, Cu, and B, mainly in the layer of 0,0-0,10 m with increments of soil acidity. It can be inferred that there was a decrease in fertility in the Eutrudox soil and increase of it in Hapludox soil by the action of crop techniques adopted.

Keywords: *Saccharum* spp, cane burning, fertility, long-term monoculture.

3.2 Introdução

A crescente expansão da indústria sucroalcooleira no Brasil resultou na introdução de maiores e novas áreas para produção canavieira. Nestas áreas, são praticados diferentes sistemas de manejo, que geram distúrbios nos atributos físicos, químicos e biológicos dos solos. Segundo Cerri et al. (1991), Silva e Ribeiro (1998), Centurion et al. (2001) e Luca et al. (2008), os atributos químicos dos solos tropicais sob cultura da cana-de-açúcar são modificados pelas diferentes práticas utilizadas para seu manejo, assim como pelas condições climáticas e características naturais do solo. Estas alterações dependem de diversos fatores, como cultura implantada, sistema de manejo, fertilidade do solo e dinâmica dos nutrientes.

Diversos trabalhos constatarem mudanças nos atributos químicos dos solos cultivados com cana-de-açúcar, onde as principais modificações, com relação às condições originais, estão relacionadas com carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT), acidez trocável, pH, bases trocáveis, CTC e fósforo (P), as quais são, de forma geral, dependentes da fertilidade inicial. Geralmente, é reportado que solos eutróficos diminuem sua fertilidade com o tempo de cultivo (CERRI et al. 1991; CENTURION et al., 2001; MULLER, 2002; NOBLE et al., 2003; SILVA et al., 2006a); porém, esta aumenta nos solos distróficos (SILVA; RIBEIRO 1998; MULLER, 2002; MAIA; RIBEIRO 2004a).

Os teores de CO apresentam significativos decréscimos após desmatamento e introdução da cultura da cana-de-açúcar, podendo apresentar novos equilíbrios nos horizontes superficiais após de determinado período de tempo (SILVA; RIBEIRO 1998; MULLER, 2002; MAIA; RIBEIRO, 2004a) ou aumentar em profundidade (VITORELO et al., 1989; CERRI et al. 1991). Por sua vez, Robertson e Thorburn (2007a, 2007b) e Luca et al. (2008) encontraram decréscimos significativos dos teores de CO e NT do solo com a queima da palha na colheita.

Cerri et al. (1991) reportam diminuição do pH, bases trocáveis, P e N, relacionada com a significativa diminuição do estoque orgânico que afeta essencialmente os primeiros 0,20 m do solo. Resultados similares foram encontrados por Centurion et al. (2001), Noble et al. (2003), Maia e Ribeiro (2004a) e Silva et al. (2006a). Por sua vez, Silva e Ribeiro (1998) e Muller (2002) encontraram incrementos do pH e diminuição da acidez trocável decorrente do tempo na cultura da cana-de-açúcar. Canellas et al. (2003) observaram alta correlação entre acidez potencial e teores de matéria orgânica no solo (MO).

O cultivo contínuo da cana-de-açúcar pode promover incrementos de bases trocáveis na superfície (SILVA; RIBEIRO 1998; MULLER 2002), devido à calagem e adubação, assim como a preservação da palhada e adição de vinhaça (CANELLAS et al., 2003; SILVA et al., 2006a) ou diminuição (CERRI et al., 1991, CENTURION et al., 2001; MAIA; RIBEIRO, 2004a), devido ao esgotamento destes nutrientes no solo pela absorção e remoção da cultura através do tempo. Incrementos de bases em profundidade são reportados por Cerri et al. (1991) e Silva e Ribeiro (1998), originados pela lixiviação de argilas e desagregação da estrutura dos solos com o cultivo da cana-de-açúcar.

Os efeitos originados pelo cultivo contínuo da cana-de-açúcar sobre pH, CO₂, acidez potencial e bases trocáveis estão relacionados com a dinâmica da capacidade de troca de cátions (CTC). Cerri et al. (1991) observaram diminuição na CTC nos primeiros 0,40 m associada ao decréscimo da MO na superfície. Além disso, observaram que a lixiviação dos cátions trocáveis em solos cultivados acarretou um aumento relativo da CTC em profundidade. Silva e Ribeiro (1998) encontraram que, com o tempo de cultivo, houve queda significativa nos valores da CTC nos primeiros 2 anos, devido à redução do teor de MO, havendo depois uma recuperação nos solos cultivados por 18 e 25 anos, em virtude da reposição nos níveis de MO. Resultados similares foram obtidos por Muller (2002) e Maia e Ribeiro (2004a).

Acréscimos significativos nos teores de P do horizonte superficial, com o tempo de cultivo, e decréscimos significativos nos horizontes subsuperficiais, foram observados por Maia e Ribeiro (2004a). Fenômenos de acumulação de P, com o cultivo contínuo da cana-de-açúcar, também foram observados por Silva e Ribeiro (1998), Centurion et al. (2001) e Muller, (2002). Por sua vez, Canellas et al. (2003) encontraram acréscimos significativos nos teores de P na superfície com a aplicação de vinhaça e preservação da palha, indicando as vantagens da prática de não queima e adição daquele subproduto sobre o P e outros nutrientes.

Com relação aos micronutrientes, Muller (2002) encontrou alta correlação entre teores de MO do solo e alguns micronutrientes especialmente B, Fe e Mn em Nitossolos Vermelhos e Neossolos Quartzarênicos. Por sua vez, Canellas et al. (2003) encontraram teores dos micronutrientes maiores em áreas onde se preservou a palhada, independentemente da profundidade considerada, quando comparado ao manejo com queima do canavial. A adição de vinhaça também pode gerar acréscimos nos teores de micronutrientes, como constatado por Canellas et al. (2003).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de períodos de cultivo contínuo com cana-de-açúcar sobre alguns atributos químicos de Latossolos Vermelhos no norte do estado de Paraná.

3.3 Material e Métodos

O estudo foi conduzido em duas áreas da Cooperativa de Produtores de Rolândia (COROL), nos municípios de Rolândia (23°15'01" S, 51°28'36" W) e Jaguapitã (23°03'49" S, 51°27'52" W).

Os solos utilizados correspondem a um Latossolo Vermelho eutroférico muito argiloso (LVef) (EMBRAPA, 2006), fase floresta tropical subperenifólia, relevo plano a suave ondulado; e um Latossolo Vermelho distrófico textura média (LVd) (EMBRAPA, 2006), fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado. O clima predominante na região é Cfa, de acordo com classificação de Koeppen, com valores médios anuais de 1650 mm de precipitação, 27 e 18 °C de temperatura máxima e mínima, respectivamente.

O sistema de produção antes da cana-de-açúcar no LVef era o de rotação milho-soja-trigo, sob plantio convencional e de pastagem no LVd. O preparo da área constou de 1 gradagem com grade pesada com disco de 32 polegadas, 1 subsolagem a 0,50 m de profundidade, 1 gradagem com grade niveladora. A sulcagem foi feita a 0,40 m de profundidade e 1,40 m entre linhas. Após o primeiro corte foi feito o triplice cultivo (1 subsolagem na entrelinha, para descompactação, adubação, eliminação de plantas daninhas), repetido todos os anos, e aplicação de herbicida. No LVef, a partir do 10º corte, não foi realizado o triplice cultivo devido à distribuição da touceira na entrelinha. A colheita da cana-de-açúcar foi realizada com cana queimada e corte manual. Na Tabela 3.1 estão apresentados os teores de argila, densidade do solo, e as práticas de adubação realizadas, nos dois tipos de solo.

Foram avaliadas os atributos químicos do solo de cinco talhões correspondentes a diferentes períodos de uso contínuo com cana-de-açúcar em cada tipo de solo, sendo estes de 16 – 10 – 8 - 3 e 1 cortes para o LVef, e de 7- 6- 3 -2 e 1 corte para o LVd. Estes talhões foram comparados com matas nativas localizadas na mesma unidade de solos. Os talhões ocupam uma mesma situação topográfica no terço médio da pendente. Cada amostra coletada para análise química foi composta de 15 sub-amostras, feitas nas

profundidades de 0,0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40 m, As amostras foram coletadas na entrelinha a 0,35 m da touceira da cana. A amostragem foi feita entre os meses de novembro de 2006 e março de 2007.

Tabela 3.1 – Número de cortes, teor de argila, densidade do solo, e adubação utilizada nas duas áreas avaliadas.

Solo	Nº. Cortes	Argila ⁽¹⁾ g kg ⁻¹	Ds ⁽²⁾ g cm ⁻³	Adubação mineral	Adubação orgânica
Latossolo Vermelho eutroférico (LVef)	Mata	730	1,13		
	1	654	1,40		103 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça +Torta de filtro 35 t ha ⁻¹
	3	656	1,42		103 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça
	8	762	1,44	250 kg ha ⁻¹ de Super N (46% N) em cobertura e a lanço	103 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça
	10	699	1,42		103 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça
	16	708	1,51		103 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)	Mata	214	1,24		
	1	225	1,49		Não
	2	200	1,49	1,3 t ha ⁻¹ de calcário dolomítico no pré-plantio	Não
	3	237	1,52	500 kg ha ⁻¹ , no sulco de plantio de 05-25-25, e 413 kg ha ⁻¹ de 25-00-25 na entrelinha na cana soca, por ocasião do tríplice cultivo.	Não
	6	169	1,50		Não
	7	210	1,54		Não

⁽¹⁾ Teores de argila referente ao horizonte Bw. ⁽²⁾ (Ds): densidade do solo, método do anel volumétrico (Embrapa, 1997).

Foram feitas as seguintes determinações: pH em CaCl₂, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Al³⁺, acidez potencial (H⁺ + Al³⁺), P, NT, Cu, Fe, Mn, Zn, B e CO, utilizando-se metodologia preconizada em EMBRAPA (1997). Com os resultados analíticos obtidos, foram calculados os valores para CTC a pH 7,0; saturação por bases (V%) e a relação K/(Ca+Mg)^{0.5}. A argila foi determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997). O conjunto dos dados foi submetido à análise de correlação linear de Pearson, utilizando o procedimento CORR (SAS INSTITUTE, 1989) e de componentes principais (ACP) pelo programa ADE4, descrito por Thioulouse et al. (1997).

3.4 Resultados e Discussão

O pH encontrado no LVef foi maior no solo de mata nativa e diminuiu em profundidade em todos os talhões avaliados, efeito mais evidente nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade. Verificou-se também acidificação do solo nas camadas superficiais com o aumento do tempo de cultivo de cana-de-açúcar; assim, o talhão com 16 cortes apresentou redução de 1,7 unidades de pH em relação à mata nativa. Os decréscimos de pH neste solo estão relacionados, principalmente, com o aumento da acidez potencial ($r = -0,83^{**}$) e decréscimos de Ca^{2+} e Mg^{2+} ($r = 0,81^{**}$ e $0,76^{**}$, respectivamente) (Tabela 3.2 e 3.4). Os teores de Al^{3+} observados foram, em sua maioria, de $0,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, fato pelo qual não foi tido em conta na análise de correlação.

Decréscimos de pH em solos cultivados com cana-de-açúcar foram observados por Cerri et al. (1991) em Latossolo Vermelho escuro, Centurion et al. (2001) em Latossolo Vermelho eutrófico, Noble et al. (2003) em Oxic Humitropept, Maia e Ribeiro (2004a) em Latossolo Amarelo distrófico, atribuídos à diminuição dos teores de bases trocáveis por extração do cultivo ao longo do tempo assim como à diminuição dos teores de MO do solo. Sobre este aspecto, Canellas et al. (2003), trabalhando em Cambissolo Háplico eutrófico, encontraram que a acidez potencial foi maior na camada superficial nas áreas com menor teor de CO, indicando que a oxidação da MO pode ser um componente importante na geração da acidez. Vale lembrar que este solo foi submetido à adubação nitrogenada, o que pode também ter contribuído para o aumento da acidez.

Para o LVd, os menores valores de pH e maiores valores de acidez potencial foram encontrados na área de mata nativa, quando comparados com áreas cultivadas, correlacionando-se negativamente ($r = -0,85^{**}$). Além disso, teores maiores de Al^{3+} foram observados no solo de mata nativa (Tabela 3.3 e 3.5). Nos talhões cultivados, observou-se acréscimos de pH na camada de 0,0-0,10 m de profundidade, e decréscimos de Al^{3+} decorrentes do tempo de cultivo entre 0,0-0,20 m. Não se verificou mudanças para acidez potencial entre os diferentes períodos de cultivo da cana-de-açúcar neste solo (Tabela 3.2). Incrementos de pH na cultura da cana-de-açúcar são reportados por Silva e Ribeiro (1998) em Latossolo Amarelo argiloso, Muller (2002) em Nitossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico e Silva et al. (2006a) em Argissolo Amarelo, atribuídos a aplicação de corretivos, preservação da palhada e adição de vinhaça (CANELLAS et al., 2003; SILVA et al., 2006a).

Tabela 3.2 – Resultados das análises químicas da área do LVef nos talhões avaliados

Nº corte	pH (CaCl ₂)	CO	NT	Al ⁺³	(Al+H)	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	CTC	V	K/(Ca+Mg) ^{0,5}	P
0,0-0,10 m												
Mata	6,2	39,4	3,39	0,00	2,56	14,09	4,00	1,05	21,8	88,3	0,247	8
1	5,3	15,1	1,30	0,00	3,91	9,93	2,24	1,10	17,2	77,3	0,315	7
3	5,3	16,5	1,42	0,00	2,70	7,93	1,82	1,54	13,4	84,1	0,493	5
8	4,5	12,8	1,10	0,19	5,43	4,45	1,30	1,54	12,7	57,4	0,642	4
10	4,8	15,6	1,34	0,00	4,40	5,98	1,71	1,35	13,4	67,0	0,487	4
16	4,5	14,2	1,22	0,15	5,19	5,01	1,49	1,23	12,9	59,9	0,482	4
0,10-0,20 m												
Mata	5,7	18,8	1,61	0,00	3,60	10,34	2,64	0,72	17,4	79,2	0,200	3
1	5,2	13,3	1,14	0,00	3,80	8,31	2,04	0,92	15,1	74,8	0,286	4
3	5,2	12,8	1,10	0,00	2,72	8,32	1,92	1,00	14,0	80,6	0,313	3
8	4,6	12,8	1,10	0,69	6,79	3,83	1,05	1,54	13,2	48,7	0,697	3
10	5,1	11,5	0,98	0,00	4,57	3,97	1,68	1,54	11,8	61,1	0,648	3
16	4,7	13,7	1,18	0,08	4,28	4,90	1,33	1,54	12,1	64,5	0,617	3
0,20-0,40 m												
Mata	5,2	10,5	0,91	0,00	3,69	6,10	1,44	0,49	11,7	68,6	0,178	2
1	5,6	8,2	0,71	0,00	3,30	9,10	2,71	0,56	15,7	79,0	0,163	2
3	5,6	7,3	0,63	0,00	3,32	6,34	1,71	0,38	11,8	71,8	0,134	3
8	4,8	10,5	0,91	0,10	4,31	3,65	1,53	1,23	10,7	60,1	0,540	2
10	5,5	7,3	0,63	0,00	3,45	3,43	1,66	1,20	9,8	64,2	0,532	2
16	5,3	7,8	0,67	0,00	3,22	4,36	1,22	1,00	9,8	67,2	0,423	3

Os teores de CO oscilaram entre 7,3 e 39,4 g dm⁻³ no LVef e entre 3,7 e 11,4 g dm⁻³ no LVd (Tabela 3.2 e 3.3). Estes resultados estão de acordo com os que foram obtidos por Cerri et al. (1991) em Latossolo Vermelho escuro, Silva e Ribeiro (1998) em Latossolo Amarelo argiloso, Muller (2002) em Nitossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico e Maia e Ribeiro (2004a) em Latossolo Amarelo distrófico. Os maiores teores de CO no LVef estão relacionados com o maior teor de argila nestes solos (> 650 g kg⁻¹) frente aos teores entre 169–237 g kg⁻¹ do LVd (Tabela 3.1). Vários estudos demonstraram uma correlação positiva entre o CO do solo e o teor de argila (SCHIMEL et al., 1985; SPAIN, 1990) devido à adsorção de moléculas orgânicas em superfícies minerais da argila, que proporciona um mecanismo de estabilização de CO contra o ataque microbiano (Ladd et al., 1996).

Para o NT, foi encontrada tendência muito similar à obtida para o CO nos diferentes talhões avaliados nos dois solos, indicando a alta correlação que existe entre estes

dois elementos ($r = 0,99^{**}$) (Tabela 3.4 e 3.5). Os teores de NT oscilaram entre 0,63 e 3,39 g dm^{-3} no LVef e de 0,32 a 0,98 g dm^{-3} no LVd (Tabela 3.2 e 3.3).

Os teores de CO e NT diminuíram em até 67 e 49% nas camadas superficiais nos solos cultivados das áreas do LVef e LVd, respectivamente, em comparação com o solo sob vegetação nativa, assim como em profundidade em todos os talhões avaliados. Sobre este aspecto, Blair et al. (1998) e Robertson e Thorburn (2007a, 2007b), assinalam que as entradas da MO nos solos sob cana são menores que aquelas observadas com floresta nativa ou pastagens, em parte, devido à prática da queima. Segundo Mitchell et al. (2000), no sistema de cana queimada, mais de 70% da MO e dos nutrientes são perdidos para a atmosfera.

Nos talhões cultivados com cana-de-açúcar no LVef, não foram observadas mudanças no teor de CO com o tempo de cultivo, nas profundidades avaliadas; no entanto, no LVd, o tempo de cultivo permitiu incrementos de CO nos primeiros 0,10 m de profundidade, sendo que no talhão com cana de 7 cortes o valor obtido se aproxima ao da mata nativa (10,1g dm^{-3} e 11.4 g dm^{-3} , respectivamente), indicando um possível novo equilíbrio de CO neste solo. Incrementos de CO na cultura de cana-de-açúcar decorrentes do tempo de cultivo são reportados por Silva e Ribeiro (1998) em Latossolo Amarelo argiloso e Maia e Ribeiro (2004a) em Latossolo Amarelo distrófico.

Não foram observados incrementos de CO em profundidade com o tempo de cultivo, nos dois solos estudados, coincidindo com os resultados encontrados por Silva e Ribeiro (1998) em Latossolo Amarelo argiloso e Maia e Ribeiro (2004a) em Latossolo Amarelo distrófico, mas diferindo dos resultados de Cerri et al. (1991) em Latossolo Vermelho escuro, devido, possivelmente, aos maiores valores de Ds nas camadas sub-superficiais (Tabela 3.1) destes solos, que podem ter reduzido o crescimento de raízes, contribuindo para a diminuição do acúmulo de MO em profundidade (SILVA; RIBEIRO et al., 1998; MAIA; RIBEIRO, 2004a). As principais entradas de MO sob sistema de manejo de cana queimada são, provavelmente, provenientes da raiz da planta (SILVA; RIBEIRO 1998). Segundo Dalbó et al. (1986), 45 a 60% das raízes da cana encontram-se nos primeiros 0,30 m; já Sampaio et al. (1987), verificaram que 75% das raízes da cana se encontravam nos primeiros 0,20 m de profundidade; e Azevedo (2008), por sua vez, trabalhando em Latossolo Vermelho eutrófico, observou que o sistema de raízes da cana-de-açúcar se desenvolveu até 4,3 m de profundidade, porém 60 a 70% do total das raízes encontravam-se nos primeiros 0,60 m de profundidade.

Os teores de bases trocáveis encontrados no LVef oscilaram entre 3,43-14,09 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para Ca^{+2} , 1,05-4,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para Mg^{+2} e 0,38-1,54 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para o K (Tabela 3.2). No LVd, os teores oscilaram entre 0,16-3,18; 0,25-1,13 e 0,03-0,28 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, para Ca^{+2} , Mg^{+2} e K (Tabela 3.3). Observa-se ainda que, mesmo os maiores valores encontrados no LVd, ficaram próximos ou abaixo dos menores valores observados no LVef.

No LVef, foi observado decréscimos para Ca^{+2} e Mg^{+2} , em comparação com a mata nativa, com o tempo de cultivo (Tabela 3.2). As maiores modificações de K foram encontradas nas camadas entre 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, onde os solos cultivados por mais tempo apresentaram os maiores teores de K, indicando uma possível movimentação deste nutriente para camadas inferiores, proveniente das aplicações de vinhaça nas áreas.

Decréscimo de bases trocáveis com o tempo de cultivo em cana-de-açúcar tem sido observado por Cerri et al. (1991) em Latossolo Vermelho Escuro, Centurion et al. (2001) em Latossolo Vermelho eutrófico, Maia e Ribeiro (2004a) em Latossolo Amarelo distrófico e Silva et al. (2006a) em Argissolo Amarelo, mostrando esgotamento destas em função do tempo de cultivo e remoção pelas colheitas.

Incrementos de K^+ em profundidade são reportados por Cerri et al. (1991) e Silva e Ribeiro (1998), oriundos da lixiviação de argila e desagregação dos solos com o cultivo da cana-de-açúcar ou devido à adição de vinhaça (CANELLAS et al., 2003; SILVA et al., 2006a).

No LVd, foram encontrados acréscimos de Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^+ nas camadas avaliadas nos solos cultivados em comparação com a vegetação nativa. Efeitos mais expressivos para o Ca^{+2} e Mg^{+2} , provavelmente, ocorreram devido à aplicação de calcário (Tabela 3.3). Para os solos cultivados, observou-se incrementos de Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^+ com o tempo de uso, sendo este efeito mais notório para o Mg^{+2} em todas as camadas avaliadas, em virtude do uso de calcário dolomítico, e para o K^+ na camada superficial. Não se encontraram incrementos importantes destes nutrientes em profundidade. Incrementos nas bases trocáveis com o tempo de uso em cana-de-açúcar foram reportados por Silva e Ribeiro (1998) em Latossolo Amarelo argiloso, Muller (2002) em Nitossolos Vermelhos e Neossolos Quartzarênicos e Silva et al. (2006a) em Argissolos amarelos, devido à adição de corretivos e adubos orgânicos. Incrementos nas bases trocáveis também foram encontrados por Canellas et al. (2003) em Cambissolo Háplico eutrófico vértico com preservação da palhada.

No LVef a saturação de bases (V) foi menor nas áreas cultivadas em relação à mata nativa, principalmente na camada de 0,0-0,10 m e diminuiu com o tempo de cultivo. Na camada de 0,20-0,40 m, foram observados acréscimos no valor V nos talhões cultivados por mais tempo. Para o LVd, os valores de V foram mais elevados nas áreas cultivadas em comparação com a floresta nativa e nos talhões com maior número de cortes, especialmente na camada de 0,0-0,10 m de profundidade. Nos dois solos, foram observados maiores valores na superfície e decréscimos em profundidade, acompanhando a redução de Ca^{+2} e Mg^{+2} .

Tabela 3.3 – Resultados das análises químicas da área do LVd nos talhões avaliados

Nº corte	pH (CaCl_2)	CO	NT	Al^{+3}	(Al+H)	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^+	CTC	V	$\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})^{0,5}$	P
0,0-0,10 m												
Mata	3,5	11,4	0,98	1,18	6,89	0,48	0,43	0,13	7,9	13,1	0,136	5
1	5,1	7,8	0,67	0,00	2,27	2,42	0,80	0,13	5,6	59,6	0,072	19
2	5,5	5,5	0,47	0,00	2,05	2,26	0,69	0,10	5,1	59,8	0,058	15
3	5,2	7,3	0,63	0,00	2,70	2,78	0,63	0,28	6,4	57,8	0,152	10
6	5,9	8,7	0,75	0,00	2,09	2,29	1,01	0,20	5,6	62,6	0,110	22
7	5,5	10,1	0,87	0,00	2,78	3,18	1,13	0,18	7,3	61,8	0,087	9
0,10-0,20 m												
Mata	3,5	6,4	0,55	1,01	5,08	0,22	0,30	0,05	5,65	10,2	0,069	5
1	5,3	6,0	0,51	0,00	2,45	1,91	0,75	0,08	5,18	52,8	0,049	5
2	5,7	5,5	0,47	0,00	2,09	2,79	0,82	0,03	5,73	63,5	0,016	4
3	5,0	5,5	0,47	0,10	2,68	2,59	0,54	0,10	5,91	54,7	0,057	16
6	5,4	5,5	0,47	0,00	2,52	1,74	0,78	0,10	5,14	50,9	0,063	20
7	5,4	6,9	0,59	0,09	3,13	1,89	0,82	0,05	5,89	46,4	0,030	8
0,20-0,40 m												
Mata	3,6	5,5	0,47	1,05	4,41	0,16	0,25	0,03	4,84	8,9	0,047	4
1	4,4	3,7	0,32	0,19	2,74	0,95	0,54	0,10	4,33	36,8	0,082	3
2	5,0	3,7	0,32	0,09	2,64	1,92	0,95	0,03	5,53	52,3	0,018	6
3	4,3	3,7	0,32	0,31	3,15	1,54	0,52	0,03	5,24	39,8	0,021	4
6	4,8	4,1	0,35	0,13	2,74	0,98	0,64	0,05	4,41	37,9	0,039	5
7	4,8	4,1	0,35	0,24	3,08	1,24	0,67	0,03	5,02	38,6	0,022	3

Devido à dinâmica das reações de troca iônica nos solos, é importante considerar as interrelações entre K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , pois o excesso de um poderá prejudicar os processos de absorção do outro e, conseqüentemente, influir diretamente nos processos de absorção pelas plantas (ORLANDO FILHO et al., 1996).

Os valores obtidos para a relação $K/(Ca+Mg)^{0,5}$, oscilaram entre 0,134 e 0,697 no LVef (Tabela 3.2), sendo que os valores mais altos ocorreram nos primeiros 0,20 m de profundidade. Igualmente, foram observados acréscimos desta relação nos talhões com maior número de cortes nas camadas avaliadas. Para o LVd, esta relação oscilou entre 0,016 e 0,152 (Tabela 3.3), onde os maiores valores foram encontrados nos primeiros 0,10 m de profundidade, sem grandes diferenças entre os solos cultivados e a mata nativa. Sobre este aspecto, Orlando Filho et al. (1996) em Neossolos Quartzarênicos, mostram que a relação $K/(Ca+Mg)^{0,5}$ superior a 0,19 encontra-se relacionada com alta produtividade da cana. Por sua vez, Reis (2001), estudando 106 ensaios com adubação potássica em cana-de-açúcar com diferentes variedades e em diferentes solos, classificou a relação $K/(Ca+Mg)^{0,5}$ em baixa ($<0,2547$), média ($0,2547-0,3349$) e alta ($>0,3349$).

Tabela 3.4 – Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos químicos da área do LVef plantado com cana (0,0-0,40 m de profundidade)

	pH	CO	NT	Al+H	Ca	Mg	K	CTC	V	P	Mn	Fe	Cu	Zn
CO	0,38													
NT	0,38	0,99**												
Al+H	-0,83**	-0,23	-0,22											
Ca	0,81**	0,71**	0,70**	-0,60**										
Mg	0,76**	0,76**	0,75**	-0,51*	0,94**									
K	-0,28	0,15	0,15	0,28	-0,09	-0,19								
CTC	0,57*	0,79**	0,78**	-0,25	0,92**	0,89**	0,12							
V	0,89**	0,44	0,43	-0,90**	0,86**	0,76**	-0,17	0,62**						
P	0,38	0,73**	0,72**	-0,23	0,65**	0,55*	0,40	0,71**	0,45					
Mn	0,36	0,93**	0,93**	-0,17	0,63**	0,71**	0,19	0,73**	0,35	0,66**				
Fe	0,35	-0,26	-0,27	-0,37	0,23	0,18	-0,35	0,04	0,38	-0,14	-0,27			
Cu	-0,23	-0,62**	-0,62**	0,08	-0,25	-0,26	-0,22	-0,30	-0,09	-0,43	-0,57*	0,55*		
Zn	0,28	0,65**	0,65**	-0,14	0,70**	0,59**	0,17	0,78**	0,45	0,78**	0,53*	0,07	-0,14	
B	0,30	0,269	0,265	-0,11	0,363	0,35	-0,26	0,35	0,24	-0,03	0,25	-0,09	-0,17	0,22

**P<0,01; *P<0,05

Os resultados obtidos indicam que no LVef há excessos nos teores de K^+ trocável nos talhões com maior número de cortes devido, possivelmente, às aplicações de vinhaça (CANELLAS et al., 2003). Entretanto, no LVd, os valores muito baixos da relação $K/(Ca+Mg)^{0,5}$ permitem evidenciar teores baixos de K^+ neste solo, assim como possíveis dificuldades na absorção deste nutriente devido, à competição pelos sítios de absorção das raízes (VITTI et al., 2006).

Contudo, é conveniente, além das relações entre bases trocáveis, levar em consideração os teores críticos de bases trocáveis no solo. Sobre este aspecto, para solos tropicais, Sanchez et al. (1983) e Raij (1981) estabeleceram o limite de carência entre 0,5-1,0 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para o Ca^{+2} ; 0,3-0,4 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para o Mg^{+2} e 0,2-0,4 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para K^+ . Considerando esta classificação, evidencia-se a riqueza natural destes nutrientes no LVef e seu baixo conteúdo natural no LVd.

Similar ao encontrado por Cerri et al. (1991) e oposto ao observado por Silva e Ribeiro (1998), nas áreas cultivadas no LVef, os valores de CTC são inferiores aos da mata nativa e decrescem com o tempo de cultivo e em profundidade, em decorrência dos decréscimos de Ca^{+2} , Mg^{+2} e CO ($r=0,92^{**}$, $0,89^{**}$ e $0,79^{**}$, respectivamente) (Tabela 3.2 e 3.4).

Tabela 3.5 – Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos químicos da área do LVd plantado com cana (0,0-0,40 m de profundidade)

	pH	CO	NT	Al+H	Ca	Mg	K	CTC	V	P	Mn	Fe	Cu	Zn
CO	0,05													
NT	0,05	0,99**												
Al+H	-0,85**	0,41	0,41											
Ca	0,87**	0,19	0,17	-0,70**										
Mg	0,81**	0,17	0,16	-0,63**	0,72**									
K	0,35	0,40	0,33	-0,12	0,42	0,21								
CTC	-0,04	0,85**	0,82**	0,78*	0,66*	0,53*	0,40							
V	0,96**	0,01	-0,00	-0,85**	0,94**	0,79**	0,33	0,01						
P	0,28	0,19	0,14	-0,19	0,40	0,03	0,32	0,22	0,31					
Mn	0,22	0,65**	0,66**	-0,12	0,46	0,45	0,47	0,46	0,42	0,45				
Fe	-0,65**	-0,05	-0,01	0,58**	-0,81**	-0,55*	-0,30	-0,19	-0,78**	-0,30	-0,24			
Cu	0,28	-0,58*	-0,60**	-0,42	0,07	0,16	-0,10	-0,37	0,26	0,17	-0,24	-0,20		
Zn	-0,34	-0,28	-0,31	0,20	-0,15	-0,34	-0,32	-0,00	-0,24	-0,07	-0,42	0,14	-0,18	
B	-0,36	0,46*	0,44	0,49	-0,29	-0,44	0,16	0,41	-0,41	0,12	0,10	0,15	-0,16	-0,09

**P<0,01; *P<0,05

No LVd, os valores de CTC são maiores na mata nativa nos primeiros 0,10 m, devido à maior acidez potencial e maiores teores de CO, mas decrescem em profundidade. Nas áreas cultivadas, o valor CTC apresenta acréscimos decorrentes do tempo de cultivo, nas camadas entre 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m, correlacionados com maiores teores de bases trocáveis Ca^{+2} e Mg^{+2} ($r=0,66^*$, $0,53^*$, respectivamente) (Tabela 3.3 e 3.5) provenientes das aplicações de calcário e fertilizantes (SILVA; RIBEIRO, 1998; MULLER, 2002; MAIA; RIBEIRO, 2004a) e de CO ($r=0,85^{**}$). Sobre este aspecto, Raij (1981) assinala que a contribuição da

MO para CTC dos solos pode variar de 56 e 82% em solos sob condições tropicais, favorecendo a retenção de cátions e diminuindo as perdas por lixiviação.

De modo geral, os teores de P no LVef foram baixos ($<8 \text{ mg dm}^{-3}$) (Raij, 1997), o que se deve, especialmente, à pequena quantidade desse elemento no material de origem desse solo e à fixação desse elemento pelas argilas. Os maiores teores de P presente no solo sob vegetação natural se localizam no horizonte superficial, provavelmente devido à reciclagem e mineralização de compostos orgânicos, decrescendo em profundidade, acompanhando a redução do CO ($r= 0,73^{**}$). Nos solos cultivados, os teores de P foram inferiores aos da mata nativa e decresceram em profundidade, refletindo a baixa reposição deste nutriente com a fertilização utilizada (Tabela 3.1). Segundo Lora (1994), a disponibilidade de P pode decrescer muito mais com pH inferior a 6,5 devido à reação de P com o Al e Fe, originando compostos insolúveis, situação que acontece nos solos cultivados, especialmente nos talhões com maior tempo de cultivo.

No LVd, os teores de P oscilaram entre $3,0$ e $22,0 \text{ mg dm}^{-3}$, sendo mais altos nas áreas cultivadas em relação à mata nativa e com o tempo de cultivo. Os maiores teores foram observados nos primeiros $0,10 \text{ m}$ de profundidade. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Silva e Ribeiro (1998) em Latossolo Amarelo argiloso, Centurion et al. (2001) em Latossolo Vermelho eutrófico, Muller (2002) em Nitossolo Vermelho e Maia e Ribeiro (2004a) em Latossolo Amarelo distrófico, e reflete o efeito cumulativo nas camadas superficiais pela aplicação de fertilizantes, assim como à sua baixa solubilidade e mobilidade no solo (Raij, 1981).

Para Raij (1997), o valor considerado como limite para ocorrer deficiência de P na cultura de cana-de-açúcar é de 6 e 15 mg kg^{-1} para cana planta e soca, respectivamente. Isto indica deficiência geral deste nutriente no LVef, assim como em camadas abaixo de $0,10 \text{ m}$ do LVd, especialmente em solos cultivados com cana há menos tempo.

Com relação aos teores de micronutrientes encontrados no LVef, na Tabela 3.6 pode observar-se que o Mn apresenta teores entre 42 - 409 mg dm^{-3} , sendo que os maiores teores foram observados nos solo de mata nativa em comparação com os solos cultivados, e acumulação nos primeiros $0,20 \text{ m}$. O Fe e o Cu apresentam tendência similar neste solo, com teores que oscilaram entre $11,0$ - $83,0 \text{ mg dm}^{-3}$ e $5,3$ - $25,2 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente, com acréscimos em profundidade e decréscimos nos solos com maior tempo de cultivo, similar ao encontrado por Canellas et al. (2003). Os teores de Zn e B oscilaram entre $0,1$ - $10,1 \text{ mg dm}^{-3}$ e $0,7$ - $4,3 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente, apresentando decréscimos com o tempo de uso e em

profundidade. O Mn e Zn apresentaram correlação positiva com CO, NT, Ca, Mg e P. O Cu apresentou correlação negativa com CO. Fe e B não apresentaram correlação com nenhum dos atributos químicos avaliados (Tabela 3.4).

Tabela 3.6 – Teores de micronutrientes da área do LVef nos diferentes talhões avaliados

Nº corte	Mn	Fe	Cu	Zn	B
	mg dm ³				
0,0-0,10 m					
Mata	409	24	5,3	8,5	4,3
1	85	42	19,5	10,1	1,7
3	111	35	17,9	4,4	1,3
8	190	11	16,8	2,9	0,9
10	134	28	11,2	5,2	1,4
16	54	14	11,4	3,3	1,1
0,10-0,20 m					
Mata	163	28	13,8	5,5	3,05
1	73	74	20,4	8,3	1,6
3	108	57	19,5	3,7	1,6
8	102	26	18,3	2,8	0,7
10	87	31	13,6	3,6	1,3
16	83	15	15,7	2,1	1,1
0,20-0,40 m					
Mata	50	33	10,7	0,7	1,4
1	44	57	25,2	1,8	1,2
3	53	83	18,5	0,1	1,3
8	56	28	18,1	0,8	1,0
10	42	38	16,9	0,5	1,3
16	44	16	14,7	0,4	1,2

(*) Extrator Mehlich (Mn, Fe, Cu, Zn) e HCl 0,05 N (B)

Para o LVd (Tabela 3.7), foram observados menores teores de Mn, Cu, Zn e B, quando comparados com os encontrados no LVef, devido à sua classe textural média com teores mais baixos de argila (VITTI et al., 2006a). Neste solo, os teores de Mn oscilaram entre 5,0-45,0 mg dm⁻³, ocorrendo acréscimos nas áreas com maior tempo de cultivo e decréscimos em profundidade. O Fe variou entre 27,0-164,0 mg dm⁻³, com valores mais elevados sob mata nativa e acréscimos em profundidade, sendo que entre os talhões cultivados, os teores foram similares em cada camada. Para o Cu, os teores oscilaram entre 0,27-0,84 mg dm⁻³, com

acréscimos nos talhões sob cultivo, sem grandes variações entre tempo de uso e em profundidade. O Zn apresentou teores entre 0,03-0,08 mg dm⁻³, sem diferenças entre a mata nativa e os solos sob cultivo nem entre os talhões cultivados e profundidades avaliadas. O B apresentou teores entre 0,28-1,11 mg dm⁻³ com maiores teores sob mata nativa e decréscimos com o tempo de uso e em profundidade. O Mn apresentou correlação positiva com CO e NT. O Fe apresentou correlação negativa com pH, Ca, Mg, S e CTC e positiva com a acidez potencial. O Cu apresentou correlação negativa com CO e NT; e o B só apresentou correlação positiva com CO. Não houve correlação entre o Zn e os demais atributos químicos avaliados (Tabela 3.5). Muller (2002) em Neossolo Quartzarênico cultivado por 5 e 25 anos com cana-de-açúcar, observou correlações positivas entre CO, Mn, Fe e B, e entre CO, Fe, Zn, Cu e B, em Nitossolo Vermelho cultivado por 12 e 50 anos com cana-de-açúcar.

Tabela 3.7 – Teores de micronutrientes da área do LVd nos diferentes talhões avaliados(*)

Nº corte	Mn	Fe	Cu	Zn	B
mg dm ⁻³					
0,0-0,10 m					
Mata	29	126	0,27	0,07	1,11
1	21	47	0,43	0,08	0,92
2	28	51	0,44	0,07	0,55
3	32	45	0,62	0,05	0,83
6	41	57	0,63	0,03	0,83
7	36	46	0,54	0,08	0,46
0,10-0,20 m					
Mata	11	110	0,35	0,08	1,11
1	16	85	0,58	0,06	0,65
2	17	68	0,50	0,08	0,74
3	16	52	0,52	0,07	0,83
6	45	100	0,47	0,08	0,74
7	21	49	0,50	0,07	0,65
0,20-0,40 m					
Mata	8	164	0,34	0,09	0,83
1	5	109	0,52	0,08	0,55
2	7	88	0,84	0,08	0,74
3	7	87	0,56	0,09	0,65
6	14	102	0,65	0,07	0,55
7	9	107	0,51	0,08	0,28

(*) Extrator Mehlich (Mn, Fe, Cu, Zn) e HCl 0,05 N (B)

Em tabuleiros do nordeste brasileiro cultivados com cana-de-açúcar, Marinho e Albuquerque (1981) observaram que solos com teor de Cu menor que $0,25 \text{ mg kg}^{-1}$ e Zn menor que $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ mostravam resposta à adição destes elementos. Santos e Sobral (1981) indicam o teor de $0,8 \text{ mg kg}^{-1}$ como nível crítico para o Cu. Segundo Raij et al. (1997), os limites de deficiência para B (água quente), Cu, Fe, Mn e Zn (DTPA) são 0,2; 0,2; 4,0; 1,2; e $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente, o que mostra que os teores dos micronutrientes encontrados no LVef são superiores aos limites de carência estabelecidos, decorrentes da riqueza do material de origem destes solos. Os acréscimos de Fe, Cu, Zn e B nos solos cultivados na área do LVef podem estar associados às aplicações de vinhaça, calcário e MO (CANELLAS et al., 2003; VITTI et al., 2006a), mesmo que Canellas et al. (2003) salientem que a queima do canavial origina decréscimos nos conteúdos de micronutrientes.

No LVd, os teores de Fe, Mn e B estão acima do limite considerado alto para a maioria das culturas (Raij et al., 1997). Por sua vez, os teores de Cu se encontram no nível médio e os de Zn, de deficiência ($<0,5 \text{ mg dm}^{-3}$), indicando níveis naturais muito baixos podendo ser mais afetados ainda com a queima da palha (CANELLAS et al., 2003).

3.4.1 Análise conjunta de dados

A análise conjunta de dados por meio da análise de componentes principais (ACP) para o LVef, mostra diferenças discrepantes entre os solos de mata nativa e os solos cultivados e entre profundidades nos talhões cultivados (Figura 3.1). O eixo 1, que explica 54% da variabilidade, permite observar que as variáveis mais correlacionadas com a mata nativa são CO, NT, pH, bases trocáveis, CTC, V, P, B, Zn e Mn, devido aos maiores teores encontrados no solo nativo, assim como nos primeiros 0,10 m de profundidade dos talhões cultivados com 1, 3 e 10 cortes. Por sua vez, os talhões de 8 e 16 cortes se relacionam mais com os altos valores de (Al+H) presentes nesta camada, assim como a maiores valores de K na camada entre 0,10-0,20 m. O Fe e Cu apresentam maior correlação com as profundidades de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m dos diferentes talhões, devido, seus maiores teores nestas profundidades e ao menor teor de Cu nos solos de mata em comparação aos cultivados, situação observada no eixo 2 que explica 20% da variabilidade.

Para O LVd, a análise conjunta de dados por meio da análise de componentes principais (ACP) mostra diferenças discrepantes entre os solos de mata e os

cultivados com cana-de-açúcar (Figura 3.2). O eixo 1 explica 42% da variabilidade e as variáveis que mais se correlacionam com a mata nativa são (Al+H), Fe, B, e Zn, devido aos maiores teores encontrados neste solo. As variáveis que mais correlacionam com os talhões cultivados são Ca, Mg, pH, V, P, K, Mn e, em menor proporção, CTC, CO e NT. O eixo 2 explica 27% da variabilidade, mostrando que existe maior proximidade entre os solos de mata nativa e os talhões cultivados na camada de 0,0-0,10 m, onde as variáveis mais correlacionadas são (Al+H), CTC, CO, NT e B.

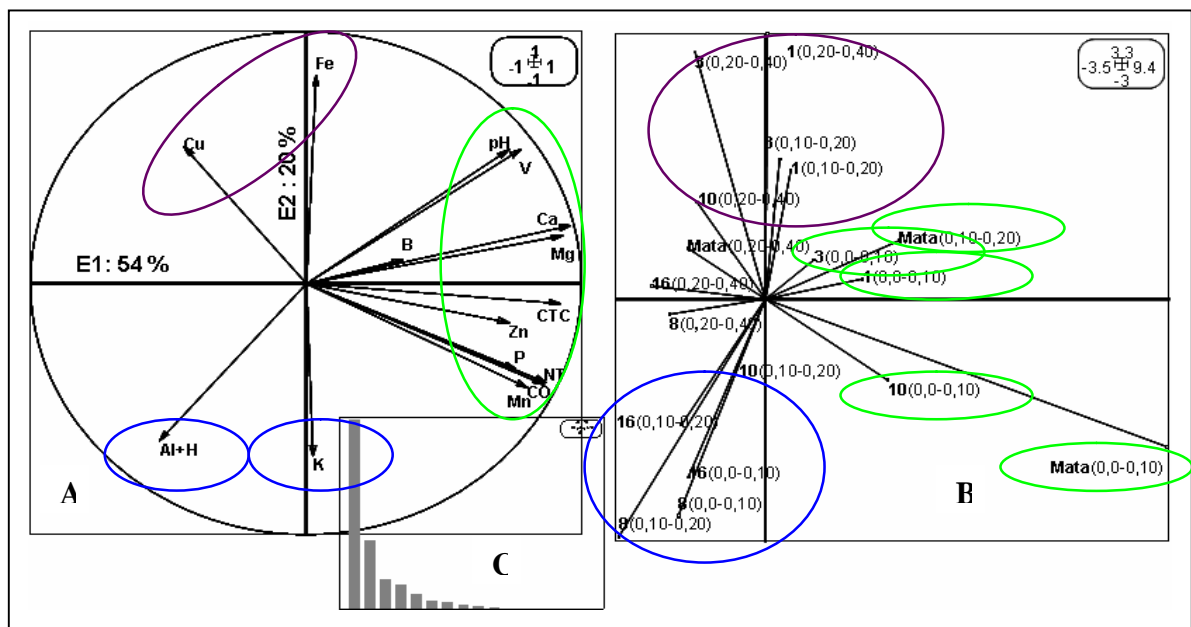


Figura 3.1 – Análise dos componentes principais (ACP) baseada em atributos químicos de solos em três profundidades em LVef sob cana-de-açúcar por vários períodos consecutivos de tempo. (A) Circulo das correlações entre as variáveis, (B) Ordenação das profundidades no plano fatorial; (C) diagrama dos valores próprios.

Os anteriores resultados permitiram observar mudanças importantes na passagem de vegetação nativa para a cultura de cana-de-açúcar, caracterizadas pela diminuição no CO e NT por efeito do desmatamento, tanto no LVef quanto no LVd. Além disso, nos talhões cultivados do LVef, foi encontrada diminuição das bases trocáveis, CTC, Fe, Cu e Zn e incrementos da acidez do solo. Efeito contrario foi observado no LVd, pois com o tempo de cultivo houve incremento das bases trocáveis, CTC, P, Mn e diminuições do Fe, Cu, e B, principalmente na camada de 0,0-0,10 m, com ligeiros incrementos da acidez do solo. Estes resultados mostram, de forma geral, diminuição da fertilidade nos solos

eutroféricos e aumento desta nos distróficos pela ação das práticas culturais efetuadas na cultura da cana-de-açúcar com o decorrer do tempo.

Contudo, cabe destacar que, no LVeF, a diminuição de bases trocáveis decorrentes dos maiores períodos de cultivo não compromete sua disponibilidade devido aos seus altos teores naturais; porém, o suprimento de P nos fertilizantes utilizados não é suficiente para provocar acréscimos importantes deste nutriente no solo, ficando em níveis considerados deficientes, podendo afetar a produtividade da cultura. O LVd apresentou baixa fertilidade nos diferentes talhões cultivados e a fertilização realizada não elevou os teores de K e Zn a níveis adequados, o que pode trazer efeitos negativos sobre a produtividade da cultura.

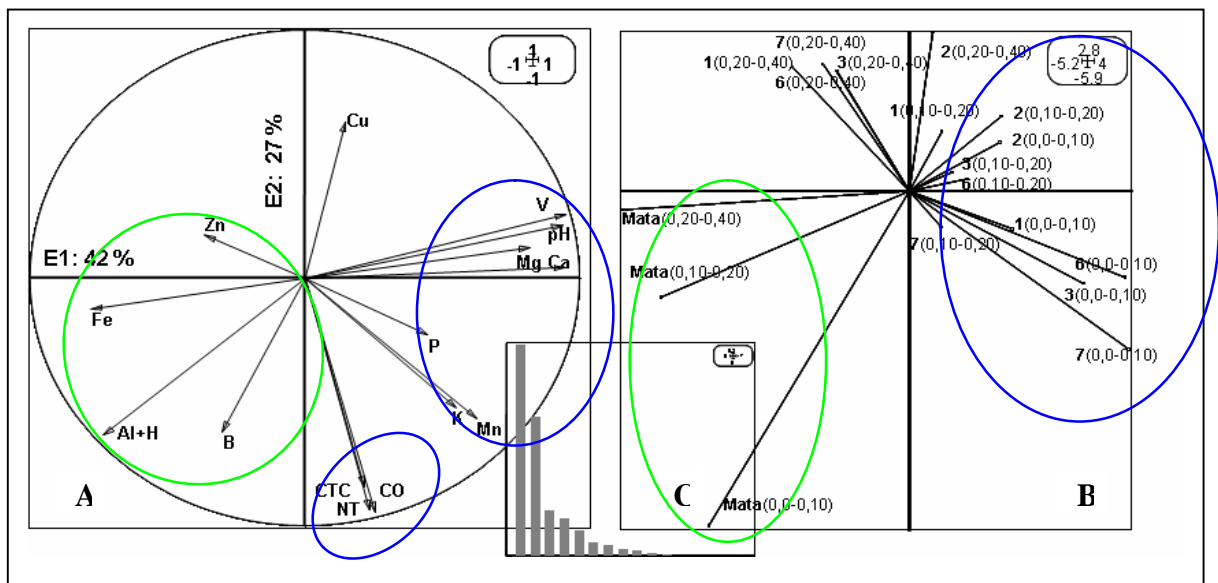


Figura 3.2 – Análise dos componentes principais (ACP) baseada em atributos químicos de solos em três profundidades em LVd sob cana-de-açúcar por vários períodos consecutivos de tempo. (A) Circulo das correlações entre as variáveis, (B) Ordenação das profundidades no plano fatorial; (C) diagrama dos valores próprios.

3.5 Conclusões

1. A mudança de vegetação nativa para a cultura de cana-de-açúcar reflete em reduções de CO e NT nos solos estudados.

2. O cultivo contínuo de cana proporciona reduções de bases trocáveis, CTC, saturação de bases, Fe, Cu, e Zn e incrementos da acidez na área do Latossolo Vermelho eutroférico (LVef).

3. No Latossolo Vermelho distrófico (LVd) o cultivo contínuo com cana-de-açúcar aumenta as bases trocáveis, a CTC, a saturação de bases, os teores de P e Mn; e diminui os teores de Fe, Cu, e B, na camada de 0,0-0,10 m de profundidade.

4. Em geral, pode-se inferir que o cultivo contínuo com cana-de-açúcar resulta em decréscimos da fertilidade dos solos eutroféricos e em acréscimos desta nos solos distróficos, em decorrências dos manejos empregados.

5. As práticas de fertilização e manejo usadas na cultura da cana-de-açúcar não elevam os teores de P a níveis adequados no LVef, e de K^+ e Zn no LVd.

4 ARTIGO B: MORFOLOGIA DO SOLO, ATRIBUTOS FÍSICOS E DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES EM LATOSSOLOS VERMELHOS COM CANA-DE-AÇÚCAR EM DIFERENTES PERÍODOS DE CULTIVO

4.1 Resumo

A cultura da cana-de-açúcar envolve o uso de máquinas e implementos agrícolas, desde o preparo até a colheita, podendo originar compactação no solo com possíveis efeitos sobre a resistência à penetração, densidade do solo e distribuição de poros, afetando o crescimento radicular. O objetivo do presente trabalho foi estudar os aspectos morfológicos e estruturais do solo e sua interação com atributos físicos e crescimento de raízes em Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) muito argiloso e Latossolo Vermelho distrófico (LVd) de textura média, plantados com cana-de-açúcar. Foram avaliadas as estruturas do solo mediante o método do perfil cultural, a resistência de solo à penetração (RP), a densidade do solo (Ds), macroporos e microporos, e a distribuição de raízes de cinco talhões correspondentes a diferentes períodos de uso contínuo em cana-de-açúcar em cada classe de solo, sendo estes, de 16 – 10 – 8 - 3 e 1 cortes para o LVef e de 7- 6- 3 -2 e 1 cortes para o LVd, em diferentes profundidades. Estes talhões foram comparados com matas nativas localizadas nas mesmas unidades de solos. Os resultados obtidos mostraram que o tempo de cultivo proporcionou camadas compactadas com altos valores de RP e Ds e baixos valores de macroporosidade, nos dois solos, que não foram impeditivos ao crescimento radicular da cultura, devido à grande heterogeneidade estrutural nos perfis, que possibilitaram a presença de raízes em camadas sub-superficiais, podendo influir na regeneração estrutural destas. O método do perfil cultural permitiu uma descrição morfológica das estruturas e a melhor compreensão dos efeitos da compactação no desenvolvimento radicular, indicando que é uma ferramenta metodológica de grande importância no estudo de solos.

Palavras Chaves: *Saccharum* spp, cana queimada, compactação, monocultivo.

SOIL MORPHOLOGY, PHYSICAL ATTRIBUTES AND DISTRIBUTION OF ROOTS IN OXISOL WITH SUGARCANE IN DIFFERENT PERIODS OF CULTIVATION

Abstract

The cultivation of sugar cane involves the use of machinery and agricultural implements, from the preparation to harvest, and may lead to soil compaction with possible effects on the penetration resistance, density and distribution of pores in the soil, affecting the root growth. The objective of this work was to study the morphological and structural aspects of the soil and its interaction with physical attributes and growth of roots in Rhodic Eutrudox very clayey texture (LVef) and Rhodic Hapludox medium texture (LVd), cultivated with sugar cane for different periods of time. There were evaluated the structure of the soil by the method of crop profile, the resistance to penetration of soil, soil density, macroporosity and microporosity, and distribution of roots of five plots corresponding to different periods of continuous use in sugar cane in each class of soil, witch were 16 - 10 - 8 - 3 and 1 slashes for the LVef and 7 - 6 - 3 -2 and 1 slashes for the LVd at different depths. These plots were compared with soil of native forest located in the same unit of soil. The results showed that the time of cultivation, in both soils, provided compacted layers with high values of resistance to penetration, soil density, and low macroporosity, witch does not prevent the growth of the crop root due to major structural differences in the profiles that allowed the presence of roots in sub-surface layers, witch may influence the regeneration of it. The method of crop profile allowed a spatial morphological description of the structures and better comprehension of the effects of compaction in root development, indicating that it is a methodological tool of great importance in the study of soils.

Keywords: *Saccharum* spp, burning cane, compaction, long-term monoculture.

4.2 Introdução

A cana-de-açúcar é, na atualidade, uma das culturas de maior importância no agronegócio brasileiro visando à produção de açúcar e à obtenção de energia alternativa que possa diminuir a dependência de fontes de energia não renováveis e cada vez menos abundantes como o petróleo. Existem várias pesquisas que indicam alterações significativas quando ecossistemas naturais são removidos para o estabelecimento da cultura da cana (CERRI et al., 1991; HOLT; MEYER, 1998; BLAIR et al., 1998; SILVA et al., 2006a, 2006b; CENTURION et al., 2007).

A cultura da cana-de-açúcar envolve o uso de máquinas agrícolas em todas as fases do cultivo, do preparo do solo até a colheita. Segundo Camilotti et al. (2005), o trânsito frequente de tratores e colhedoras, assim como o uso de implementos agrícolas na entrelinha da cultura, originam uma pressão que causa compactação e afeta a estrutura do solo e o crescimento radicular e compromete a produtividade e a vida útil da cultura, em maior ou menor grau, dependendo das condições em que é realizado.

A intensidade da degradação nas propriedades físicas do solo associada à cultura da cana-de-açúcar é altamente variável e depende das características naturais do solo (CERRI et al., 1991; DOMINY et al., 2002; MULLER, 2002; SILVA et al., 2005; CENTURION et al., 2007; LUCA et al., 2008), da forma do preparo do solo (PAULINO et al., 2004; CAMILOTTI et al., 2005), das características dos sistemas de cultura (SILVA; RIBEIRO, 1997; MAIA; RIBEIRO, 2004b), dos processos de colheita (CEDDIA et al., 1999; SOUZA et al., 2005; LUCA et al., 2008), das condições do solo no momento das operações agrícolas (RALISCH, 1995) e do tipo de adubação (MAIA; RIBEIRO, 2004b; SILVA et al., 2006a).

As principais modificações notadas no solo estão relacionadas à redução dos teores de matéria orgânica (MO) (LUCA et al., 2008; CENTURION et al., 2007) e à degradação estrutural, evidenciada pelo aumento da densidade do solo (SOUZA et al., 2005; CAMILOTTI et al., 2005; CENTURION et al., 2007), pela redução da macroporosidade (SILVA; RIBEIRO, 1997; SILVA et al., 2005; WENDLING et al., 2005; CENTURION et al., 2007), assim como pelo incremento na resistência do solo à penetração (SOUZA et al., 2005; BRITO et al., 2006; IAIA et al., 2006; SOUZA et al., 2006), principalmente em solos cultivados por longos períodos de tempo em sistema de monocultura.

Diversos trabalhos mostram que solos com resistência à penetração (RP) variando entre 1,0 a 3,5 MPa (TAYLOR; GARDNER, 1963; TORMENA et al., 1998; BEUTLER; CENTURION, 2004a, 2004b; BEUTLER et al., 2006; TORMENA et al., 2007) e macroporosidade inferior a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (BAVER et al., 1973; TORMENA et al., 2004; e CENTURION et al., 2007), são restritivos e podem impedir o crescimento e o desenvolvimento das raízes. No entanto, Azevedo (2008) encontrou que valores de RP entre 1,5-9,6 MPa, não originaram restrições ao crescimento radicular da cana-de-açúcar, devido à grande heterogeneidade de estruturas no solo, que podem permitir o crescimento de raízes, ainda em presença de camadas compactadas, confirmando que tal crescimento e distribuição de raízes pode também ser afetado pela estrutura do solo, antrópica ou natural (RALISCH et al., 1994; RALISCH, 1995; RALISCH et al., 1995; TAVARES FILHO et al., 1999; TAVARES FILHO et al., 2001). Portanto, nos estudos da compactação do solo, mais importante do que sua quantificação é sua classificação e descrição.

A descrição estrutural do solo pode ser feita pela metodologia do perfil cultural, que possibilita uma avaliação morfológica das estruturas que constituem o perfil, localizando os fatores que interferem no crescimento das raízes. Quando acompanhadas das análises quantitativas, é possível relacionar e explicar com maior clareza os efeitos da compactação sobre o crescimento radicular e o desenvolvimento das culturas (TAVARES FILHO et al., 2001).

O objetivo do presente trabalho foi estudar os aspectos morfológicos do solo e suas interações com os atributos físicos e o crescimento de raízes em Latossolo Vermelho eutroférico e Latossolo Vermelho distrófico cultivados com cana-de-açúcar por diferentes períodos de tempo.

4.3 Material e Métodos

O estudo foi conduzido em duas áreas da Cooperativa de Produtores de Rolândia (COROL), nos municípios de Rolândia ($23^{\circ}15'01''\text{S}$, $51^{\circ}28'36''\text{W}$) e Jaguapitã ($23^{\circ}03'49''\text{S}$, $51^{\circ}27'52''\text{W}$).

Os solos utilizados correspondem a um Latossolo Vermelho eutroférico muito argiloso (LVef) (EMBRAPA, 2006) ou Rhodic Eutrudox pela Soil Taxonomy (ESTADOS UNIDOS, 1975) fase floresta tropical subperenifólia, relevo plano a suave

ondulado; e a um Latossolo Vermelho distrófico textura média (LVd) (EMBRAPA, 2006) ou Rhodic Hapludox pela Soil Taxonomy (ESTADOS UNIDOS, 1975), fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado. O clima predominante na região é Cfa, de acordo com classificação de Koeppen, com valores médios anuais de 1650 mm de precipitação, 27 e 18 °C de temperatura máxima e mínima, respectivamente.

O sistema de produção antes da cana-de-açúcar no LVef era o de rotação milho-soja-trigo, sob plantio convencional e de pastagem no LVd. O preparo da área constou de 1 gradagem com grade pesada com disco de 32 polegadas, 1 subsolagem a 0,50 m de profundidade, 1 gradagem com grade niveladora. A sulcagem foi feita a 0,40 m de profundidade e 1,40 m entre linhas. Após o primeiro corte, foi feito o tríplice cultivo (gradagem e subsolagem na entrelinha, para descompactação, adubação e eliminação de plantas daninhas), todos os anos, e aplicação de herbicida. No LVef, não foi realizado o tríplice cultivo a partir do 10 corte, devido à distribuição da touceira na entrelinha. A colheita da cana-de-açúcar foi realizada com cana queimada e corte manual. Na Tabela 4.1, encontram-se, as idades dos canaviais, os teores de argila, carbono orgânico (CO), variedades plantadas e as práticas de adubação realizadas, nos dois tipos de solo.

Na avaliação dos aspectos morfológicos e estruturais, foram selecionados cinco talhões correspondentes a diferentes períodos de uso contínuo em cana-de-açúcar em cada solo, sendo estes de 16 – 10 – 8 - 3 e 1 cortes para o LVef e de 7 - 6 - 3 - 2 e 1 cortes para o LVd. Estes talhões foram comparados com matas nativas localizadas nas mesmas unidades de solos. Os talhões ocupam uma mesma situação topográfica no terço médio da pendente. As amostragens foram feitas entre os meses de novembro de 2006 e março de 2007.

A descrição do perfil cultural efetuou-se de acordo com Tavares Filho et al. (1999), que consiste na descrição dos modos de organização das estruturas de solo encontrados no perfil, diferenciando as estruturas do solo visualmente alteradas pelo manejo agrícola (AM), daquelas não alteradas (NAM), e posterior descrição do estado interno dos agregados ou torrões encontrados nessas estruturas, onde (μ), (), e (μ / μ) representam agregados não compactos; agregados compactados e agregados \pm compactos, respectivamente; e, (pt), (mt), e (gt), representam, pequenos, médios e grandes torrões com tamanhos de 0,01-0,05; 0,06-0,10 m e >0,10 m, respectivamente, e (tf) representa terra fina.

Para tal fim, foi aberta uma trincheira transversal às linhas de cana, em cada talhão, medindo 2,10 m de largura, 0,80 m de profundidade e 1,0 m de recuo, abrangendo 2 linhas da cultura. A descrição morfológica foi feita nos dois perfis opostos de cada trincheira.

Para quantificar a estruturas encontradas, foram usadas as dimensões de 1,40 de largura, que correspondem à distância entre linhas de cana, e 0,80 m de profundidade. Os perfis culturais obtidos foram digitalizados e georreferenciados pelo software Arc View 8.3, em polígonos com pontos de controle nos quatro vértices do perfil (0,0 a 0,80 m de altura e 0,0 a 1,40 m de largura). Mediram-se as áreas frontais dos volumes de solo relativos às estruturas denominadas L (livre), F (fissurado), C (contínuo compacto) e C_μ (contínuo poroso e rugoso) e avaliou-se a presença de galerias de origem animal (GR), segundo Tavares Filho et al. (1999). Os valores obtidos foram submetidos à análise de componentes principais (ACP).

Tabela 4.1 – Número de cortes, teor de argila, CO, variedades e adubação utilizada nas áreas de solo avaliadas.

Solo	Nº. Cortes	Argila ⁽¹⁾ g kg ⁻¹	CO ⁽²⁾ g dm ⁻³	Variedade	Adubação mineral	Adubação orgânica
	Mata	730	39,4			
Latossolo Vermelho eutroférico (LVef)	1	654	15,1	SP 77-5181		103 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça +Torta de filtro 35 t ha ⁻¹
	3	656	16,5	SP 77-5181	250 kg ha ⁻¹ de Super N (46% N) em cobertura e a lanço	103 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça
	8	762	12,8	SP 77-5181		103 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça
	10	699	15,6	RB 85-5156		103 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça
	16	708	14,2	RB 72-454		103 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça
	Mata	214	11,4			
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)	1	225	7,8	RB 86-7515	1.3 t ha ⁻¹ de calcário dolomítico no pré-plantio	Não
	2	200	5,5	RB 86-7515		Não
	3	237	7,3	RB 92-8064	500 kg ha ⁻¹ , no sulco de plantio de 05-25-25, e 413 kg ha ⁻¹ de 25-00-25 na entrelinha na cana soca, por ocasião do tríplice cultivo.	Não
	6	169	8,7	RB 85-5536		Não
	7	210	10,1	RB 85-5536		Não

⁽¹⁾ Teores de argila referente ao horizonte Bw. ⁽²⁾ CO, (Embrapa, 1997).

A resistência do solo à penetração (RP) foi determinada até 0,45 m de profundidade, com intervalos de 0,05 m, a duas distâncias da touceira na entrelinha (0,35 e 0,70 m), coincidindo a última distância com a área de ação do triplice cultivo. Para cada distância, foram realizadas 10 repetições em cada talhão, usando-se um penetrômetro eletrônico, padrão ASAE (ASAE, 1986), da Spectrum Technologies, com diâmetro da base do cone de 12,8 mm e ângulo de 30°, além de registro automático da pressão em MPa a cada 0,05 m de profundidade. O equipamento possuía, também, controle de velocidade de penetração, para minimização de erros experimentais ocasionados pela medição com diferentes operadores. Segundo o fabricante, a incerteza de medição do penetrômetro é de $\pm 0,103$ MPa. A determinação foi realizada logo após um período prolongado de chuvas, quando os solos encontravam-se próximos a sua capacidade de campo com amostragem feita no mesmo dia em cada solo.

Seis amostras indeformadas foram coletadas em cada talhão, a 0,35 m da touceira na entrelinha, usando-se anéis volumétricos de 98 cm³ nas profundidades de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, para determinação da Ds, macro e microporos, a partir da utilização da mesa de tensão segundo EMBRAPA (1997).

Utilizando as trincheiras feitas para o perfil cultural, foram realizadas três séries de amostragens de raízes pelo método do trado cilíndrico (BOHM, 1979) dentro da mesma trincheira, em três profundidades 0,05-0,15; 0,20-0,30 e 0,35-0,45 m, a uma distância de 0,05 m da touceira e 0,35 m na entrelinha. Foi utilizado um cilindro com dimensões de 0,101m de diâmetro e 0,10 m de altura.

As amostras de solo contendo as raízes foram levadas ao laboratório, separadas por tamisação em água corrente em peneiras com malha igual a 1 mm, e levadas à estufa a 60 °C, por 24 h, para obtenção do peso seco (densidade de massa seca de raiz) em balança de precisão. As raízes foram, posteriormente, escaneadas e as imagens avaliadas pelo Sistema Integrado de Análise de Raízes e Cobertura do Solo (SIARCS 3.0[®]), para determinação de densidade de comprimento e área de raízes (JORGE et al., 1996).

Os dados obtidos, exceto para o perfil cultural, foram agrupados por profundidade e analisados independentemente para cada solo como um delineamento inteiramente casualizado, e submetidos ao teste de médias de Tukey nos níveis de 5% usando-se o programa computacional SISVAR 5.0 (FERREIRA, 2000).

4.4 Resultados e Discussão

4.4.1 Perfil cultural

Na Figura 4.1 e no Quadro 4.1 aparecem a representação gráfica e a descrição morfológica dos perfis culturais feitos no L_{Vef} onde se observam mudanças entre o perfil de mata nativa e os talhões cultivados.

No perfil de mata nativa, observa-se a serrapilheira, na profundidade de 0,0-0,06 m, composta de material vegetal em diferentes estados de decomposição e pequenos torrões arredondados e muita atividade biológica; de 0,06-0,16 m, encontra-se a estrutura **L_μ tf pt mt** composta por resíduos de material vegetal em decomposição, terra fina, pequenos e médios torrões, ligeiramente adensados, unidos pelas raízes; entre 0,16-0,50 m aparece a estrutura **C_μ pt** contínua granular microagregada, pequenos torrões, estado interno **μ**, muito poroso - resultado do empilhamento de pequenos agregados-, poucas raízes; entre 0,50-0,80 m observa-se a estrutura **C_μ** correspondente ao horizonte B_w dos Latossolos, com estrutura contínua, granular, microagregada, estado interno **μ**, poroso- resultado do empilhamento de pequenos agregados- poucas raízes, pouca atividade biológica, muita argila, ligeiramente adensada.

Os perfis dos talhões cultivados no L_{Vef} apresentam camadas superficiais com profundidades variando entre 0,0-0,12 m, ao lado das touceiras, e 0,03-0,08 m na entrelinha, com estrutura **L_μ tf pt mt** composta por 50% de terra fina e 50% de pequenos e médios torrões, muito porosos e rugosos, colonizados por raízes arredondadas, com pouca atividade biológica, efeito do preparo secundário do solo (grades no estabelecimento e no tríplice cultivo). O talhão com 16 cortes, em superfície, apresenta na entrelinha, possivelmente pelo efeito do tráfego, um volume de solo **F mt gt**, composto de médios e grandes torrões, com pouca porosidade e rugosidade.

Sob a camada anterior, nos talhões com 1, 3, 8 e 10 cortes entre 0,08-0,65 m, observa-se a presença da estrutura **F_μ tf pt mt gt**, com diferentes espessuras; e no talhão com 16, cortes a estrutura **L_μ gt mt**, localizada sob a touceira e na entrelinha, composta por terra fina e torrões pequenos e médios, com porosidade e rugosidade médias, ligeiramente compactados, com alta atividade biológica, colonizados por raízes arredondadas, efeito das raízes e relíquia do sulcador; entre 0,08-0,25 m, nos talhões com 1, 3 e 8 cortes, na entrelinha,

encontram-se as estruturas **L μ tf pt mt** e **F μ pt mt tf**, com pequenos e médios torrões e terra fina, muito porosos e rugosos, que apresentam muitas raízes, efeito do tríplice cultivo. Nas entrelinhas dos talhões com 10 e 16 cortes, nas mesmas profundidades, observa-se a estrutura **F pt mt**, com pequenos e médios torrões com pouca porosidade e rugosidade, poucas raízes, relíquia do tríplice cultivo.

Abaixo do sulco de plantio, entre 0,20-0,65 m, encontra-se a estrutura **F μ gt mt**, resultado da fissuração mecânica, com grandes e médios torrões semi-compactos, pouca porosidade e rugosidade, poucas raízes, camada em aparente regeneração. Nos talhões com 1, 3, 8 e 10 cortes, na entrelinha, entre 0,08 a 0,60 m, observa-se também a presença da estrutura **C gt**, contínua, compacta, com torrões muito grandes, pouca porosidade e rugosidade visíveis, poucas raízes, ligeiramente achatadas, possível efeito de pressão entre o sulcador e o tríplice cultivo ou relíquia da lavoura convencional. Para o talhão com 16 cortes, nestas mesmas profundidades encontra-se a estrutura **F pt mt** na entrelinha, em blocos, com pequenos e médios torrões compactados, pouca porosidade e rugosidade, poucas raízes, efeito do tráfego de maquinaria.

Nos talhões com 8, 10 e 16 cortes, entre 0,20-0,60 m, observa-se a camada **C μ gt**, com estrutura contínua compacta, grandes torrões, porosidade e rugosidade médias, poucas raízes, camada em aparente regeneração (fissuração em gt). No talhão com 10 cortes, foram encontradas galerias de insetos (**GR**). Já entre 0,50-0,80 m encontra-se a estrutura **C μ** , correspondente ao horizonte Bw dos Latossolos, com características similares às da mata nativa.

Na Figura 4.2 e no Quadro 4.2 aparecem a representação gráfica e a descrição morfológica dos perfis culturais feitos no LVd, onde se observa mudanças entre o perfil de mata nativa e os talhões cultivados. No perfil cultural de mata nativa, encontra-se a serrapilheira na profundidade entre 0,0-0,08 m, composta por material vegetal fresco e em decomposição, pequenos torrões de origem biológica e intensa atividade biológica; entre 0,08-0,30 m observa-se a estrutura **C μ pt mt gt**, contínua, granular microagregada e coesa; pequenos, médios e grandes torrões, muitas raízes, pouca atividade biológica, ligeiramente adensada; entre 0,30-0,80 m, nota-se uma estrutura **C μ** , correspondente ao horizonte Bw dos Latossolos, com estrutura contínua granular microagregada e coesa e com poucas raízes, e pouca atividade biológica.

Os perfis dos talhões cultivados no LVd, apresentam camadas superficiais com profundidades variáveis entre 0,0-0,10 m, ao lado das touceiras e na entrelinha, com estrutura **L μ tf pt**, composta por 80% de terra fina e 20% de pequenos torrões muito porosos,

efeito do preparo do solo secundário (grades no estabelecimento e no tríplice cultivo), abundantes raízes arredondadas e pouca atividade biológica.

Sob a camada anterior, observa-se a presença de estruturas **L μ tf pt mt** e **F μ tf pt mt**, entre 0,06-0,30 m, com diferentes espessuras e profundidades, com terra fina, torrões pequenos e médios, muito porosos e rugosos, desenvolvimento radicular intra-agregados, muitas raízes arredondadas, pouca atividade biológica, efeito do sulcador e do desenvolvimento das raízes; entre 0,10-0,50 m encontram-se as estruturas **F μ gt mt** e **C μ** , na entrelinha, composta por grandes e médios torrões, com pouca porosidade e rugosidade e poucas raízes, resultado da fissuração mecânica, possível efeito de pressão entre o tríplice cultivo e o sulcador, ou tráfego de maquinaria.

No centro da entrelinha, entre 0,06-0,30 m, nos talhões com 1, 3, 6, e 7 cortes, observa-se estruturas **F μ tf pt mt** e **L μ tf pt**, com terra fina, torrões pequenos e médios, porosidade e rugosidade média, pouca atividade biológica, desenvolvimento radicular intra-agregados, muitas raízes arredondadas, efeito do tríplice cultivo. Alternado com estas camadas, com profundidade entre 0,10-0,50 m, encontrou-se volumes de solo **C** e **C μ** , com estrutura contínua compacta a seco e coesa na entrelinha (**C**), com pouca porosidade e rugosidade; e moderadamente compacta sob touceira (**C μ**), sem porosidade visível, poucas raízes achatadas, possível efeito de pressão entre o tríplice cultivo e o sulcador ou tráfego de maquinaria. Nos talhões com 6 e 7, cortes foram encontradas galerias (**GR**) originadas por formigas e cupins.

Nos talhões com 6 e 7 cortes, observam-se camadas com estrutura **C μ** entre 0,30-0,55 m, em processo de recuperação, com porosidade e rugosidade médias, poucas raízes achatadas entre as fissuras e concentradas na touceira. Já entre 0,45-0,80 m, encontra-se a camada **C μ** , correspondente ao horizonte Bw dos Latossolos, com características similares às de mata nativa.

Analisando-se genericamente os perfis, ficou evidente suas homogeneidades estruturais, em condições naturais, característica intrínseca dos Latossolos, representado pelas avaliações dos perfis sob mata nativa. A exploração destes solos leva à heterogeneidade do seu perfil estrutural, sendo que a maior intervenção mecânica origina maior variabilidade, explicada pela fragilidade estrutural destes solos por apresentar características micro-agregada, com baixa coesão entre as partículas (KERTZMAN, 1996), observando-se maior heterogeneidade estrutural no LVef.

As ações das ferramentas de preparo do solo promoveram uma série de perturbações na estrutura original microagregada, que varia muito em função das

características pedológicas do solo, do tipo das ferramentas usadas, das características operacionais e da própria variação da forma de ação das ferramentas numa mesma operação. Portanto, a heterogeneidade estrutural dos perfis destes solos pode ser considerada como representativa do nível de antropização ou da agressividade desta antropização.

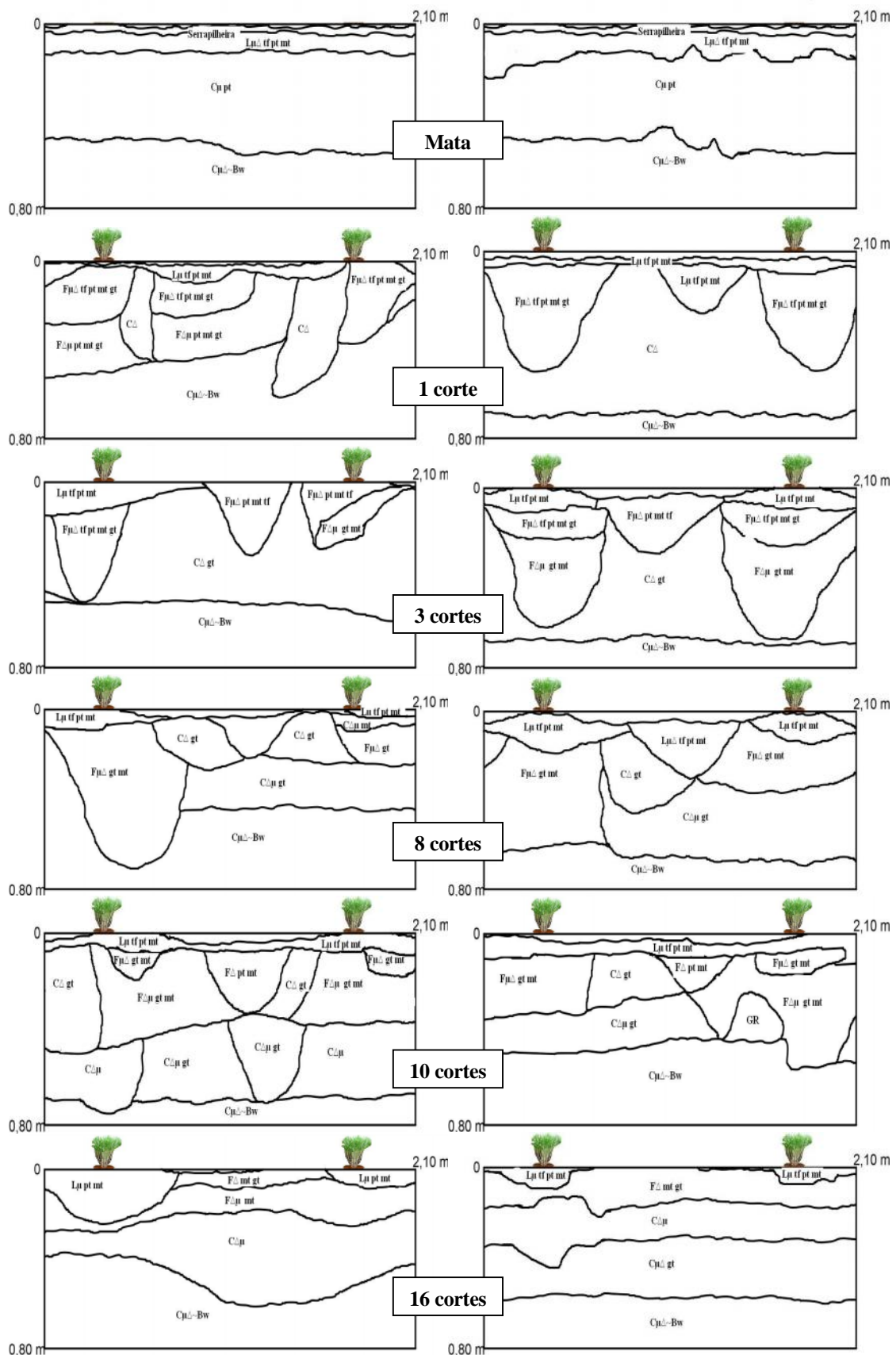


Figura 4.1 – Representação gráfica dos perfis culturais do LVEf sob cana-de-açúcar cultivada em diferentes períodos de tempo.

Quadro 4.1. Síntese de descrição morfológica dos perfis culturais nas diferentes áreas avaliadas no LVef

prof (m)	Mata Nativa (Perfis 1 e 2)	1 corte (Perfis 3 e 4)	3 cortes (Perfis 5 e 6)	3 cortes (Perfis 7 e 8)	10 cortes (Perfis 9 e 10)	16 cortes (Perfis 11 e 12)
0,02 0,04 0,06 0,08 0,10 0,12 0,14 0,16 0,18 0,20 0,22 0,24 0,26 0,28 0,30 0,32 0,34 0,36 0,38 0,40 0,42 0,44 0,46 0,48 0,50 0,52 0,54 0,56 0,58 0,60 0,62 0,64 0,66 1 1 1 0,80	<p>Serrapilheira (0-0,05m) material fresco e em decomposição, pequenos torrões de origem biológica, intensa atividade biológica.</p> <p>LpΔ tf pt mt (0,10-15m) resíduos de material vegetal em decomposição, terra fina, pequenos e médios torrões, ligeiramente adensados, unidos pelas raízes.</p> <p>Cp pt (0,15-0,50m) estrutura contínua granular microagregada, pequenos torrões, estado interno μ, muito poroso, resultado do empilhamento de pequenos agregados, poucas raízes.</p> <p>CpΔ-Bw (0,50-0,80m) estrutura contínua, granular, microagregada, estado interno μ, poroso, resultado do empilhamento de pequenos agregados, poucas raízes, pouca atividade biológica, muita argila, ligeiramente adensada.</p>	<p>Lp tf pt mt (0-0,08m) 50% de tf e 50% de torrões pequenos e médios, muito porosos e rugosos, colonizados por raízes, pouca atividade biológica. Atinge 0,08m na entrelinha. efeito do preparo do solo secundário.</p> <p>FpΔ tf pt mt gt (0,10-0,30m) sob touceira e faixas na entrelinha, terra fina, torrões pequenos e médios, porosidade e rugosidade médias, ligeiramente compactados, colonizados por raízes, alta atividade biológica, desenvolvimento radicular intra-agregados, raízes localizadas, arredondadas, efeito sulcador e raízes. Lp tf pt mt (0,08-0,25m) na entrelinha, terra fina, pequenos e médios torrões muito porosos e rugosos, muitas raízes, efeito tríplice cultivo. Fp pt mt gt (0,25-0,40m) na entrelinha, fissuração mecânica, pequenos, médios e grandes torrões, pouca porosidade e rugosidade, poucas raízes, camada em aparente regeneração, sob ação do tríplice cultivo e sulco de plantio CΔ (0,08-0,50m) estrutura contínua compacta, localizada em faixas na entrelinha, pouca porosidade e rugosidade visíveis, poucas raízes, ligeiramente achatadas, possível efeito de pressão entre o tríplice cultivo e o sulcador ou relíquia da lavoura convencional.</p> <p>NIAM-CpΔ-Bw (0,50-0,80m) estrutura contínua, granular, microagregada, estado interno μ, poroso, resultado do empilhamento de pequenos agregados, poucas raízes, pouca atividade biológica, muita argila, ligeiramente adensada.</p>	<p>Lp tf pt mt (0-0,08m) 50% de tf e 50% de torrões pequenos e médios, muito porosos e rugosos, colonizados por raízes, pouca atividade biológica. Atinge 0,10m na entrelinha. Efeito do preparo do solo secundário.</p> <p>FpΔ tf pt mt gt (0,08-0,20m) sob touceira, torrões pequenos, médios e grandes, muito porosos e rugosos, colonizados por raízes, alta atividade biológica, desenvolvimento radicular intra-agregados, raízes localizadas e arredondadas, efeito sulcador e raízes. Fp pt mt tf (0,12-0,25m) na entrelinha, pequenos e médios torrões com terra fina, muito porosos e rugosos, muitas raízes, efeito tríplice cultivo. Fp gt mt (0,20-0,65m) sob ação do sulco de plantio, fissuração mecânica, grandes e médios torrões semicompactos, pouca porosidade e rugosidade, poucas raízes, camada em aparente regeneração. CΔ gt (0,08-0,60m) estrutura contínua compacta, localizada em faixas na entrelinha, torrões muito grandes, pouca porosidade e rugosidade visíveis, poucas raízes, ligeiramente achatadas, possível efeito de pressão entre o tríplice cultivo e o sulcador ou relíquia da lavoura convencional. CΔ gt (0,21-0,60m) estrutura contínua compacta localizada em faixas na entrelinha, grandes torrões, porosidade e rugosidade média, poucas raízes, camada em aparente regeneração.</p> <p>NIAM-CpΔ-Bw (0,60-0,80m) estrutura contínua, granular, microagregada, estado interno μ, poroso, resultado do empilhamento de pequenos agregados, poucas raízes, pouca atividade biológica, muita argila, ligeiramente adensada.</p>	<p>Lp tf pt mt (0-0,08m) 50% de tf com 50% de torrões pequenos e médios, muito porosos e rugosos, colonizados por raízes, pouca atividade biológica. Atinge 0,12m perto da touceira e 0,03m na entrelinha. Efeito do preparo do solo secundário.</p> <p>FpΔ gt mt (0,10-0,60m) sob sulco de plantio, fissuração mecânica, grandes e médios torrões semicompactos, pouca porosidade e rugosidade, muitas raízes. LpΔ tf pt mt (0,12-0,30m) na entrelinha, terra fina, pequenos e médios torrões, muito porosos e rugosos, muitas raízes, efeito tríplice cultivo. CΔ gt (0,08-0,30m) estrutura contínua compacta, localizada em faixas na entrelinha, torrões muito grandes, pouca porosidade e rugosidade visíveis, poucas raízes, ligeiramente achatadas, possível efeito de pressão entre o tríplice cultivo e o sulcador ou relíquia da lavoura convencional. CΔ gt (0,21-0,60m) estrutura contínua compacta localizada em faixas na entrelinha, grandes torrões, porosidade e rugosidade média, poucas raízes, camada em aparente regeneração.</p> <p>NIAM-CpΔ-Bw (0,60-0,80m) estrutura contínua, granular, microagregada, estado interno μ, poroso, resultado do empilhamento de pequenos agregados, poucas raízes, pouca atividade biológica, muita argila, ligeiramente adensada.</p>	<p>Lp tf pt mt (0-0,08m) terra fina com 50% de torrões pequenos e médios, muito porosos e rugosos, colonizados por raízes, pouca atividade biológica. Atinge 0,12m perto da touceira e 0,08m na entrelinha.</p> <p>FpΔ gt mt (0,08-0,20m) sob sulco de plantio, fissuração mecânica, grandes e médios torrões semicompactos, porosidade e rugosidade média, raízes localizadas, camada em aparente regeneração. FΔ pt mt (0,10-0,35m) na entrelinha, pequenos e médios torrões pouca porosidade e rugosidade, poucas raízes, relíquia do tríplice cultivo. FΔ gt mt (0,10-0,40m) sob ação do sulco de plantio e na entrelinha, fissuração mecânica, grandes e médios torrões semicompactos, pouca porosidade e rugosidade, poucas raízes, camada em aparente regeneração. CΔ gt (0,08-0,35m) estrutura contínua compacta, localizada em faixas, torrões muito grandes, pouca porosidade e rugosidade visíveis, poucas raízes, ligeiramente achatadas, possível efeito de pressão entre o tríplice cultivo e o sulcador ou relíquia da lavoura convencional. CΔ gt (0,30-0,70m) estrutura contínua compacta localizada em faixas na entrelinha, grandes torrões, porosidade e rugosidade média, poucas raízes, camada em aparente regeneração. GR galerias de origem animal.</p> <p>NIAM-CpΔ-Bw (0,55-0,80m) estrutura contínua, granular, microagregada, estado interno μ, poroso, resultado do empilhamento de pequenos agregados, poucas raízes, pouca atividade biológica, muita argila, ligeiramente adensada.</p>	<p>Lp tf pt mt (0-0,14m) sob touceira, terra fina, pequenos e médios torrões, muito porosos e rugosos, colonizados por raízes, pouca atividade biológica. FΔ mt gt (0-0,12m) na entrelinha, médios e grandes torrões, pouca porosidade e rugosidade, efeito tráfego.</p> <p>LpΔ gt mt (0,08-0,25m) sob sulco de plantio, grandes e médios torrões semicompactos, porosidade e rugosidade média, raízes localizadas, camada em aparente regeneração. FΔ pt mt (0,10-0,30m), na entrelinha, fissuração mecânica, localizado em camadas, pequenos e médios torrões compactados, pouca porosidade e rugosidade, poucas raízes, efeito tráfego de maquinaria. FΔ pt mt (0,15-0,30m), na entrelinha, fissuração mecânica, médios torrões, porosidade e rugosidade médias, poucas raízes, em processo de regeneração. CΔ gt (0,15-0,40m) estrutura contínua compacta, localizada em faixas na entrelinha, porosidade e rugosidade médios e visíveis, poucas raízes, ligeiramente achatadas, camada em aparente regeneração.</p> <p>NIAM-CpΔ-Bw (0,60-0,80m) estrutura contínua, granular, microagregada, estado interno μ, poroso, resultado do empilhamento de pequenos agregados, poucas raízes, pouca atividade biológica, muita argila, ligeiramente adensada.</p>
NIAM-CpΔ-Bw - estrutura aparentemente não afetada pelo manejo, correspondente ao horizonte Bw dos Latossolos.						

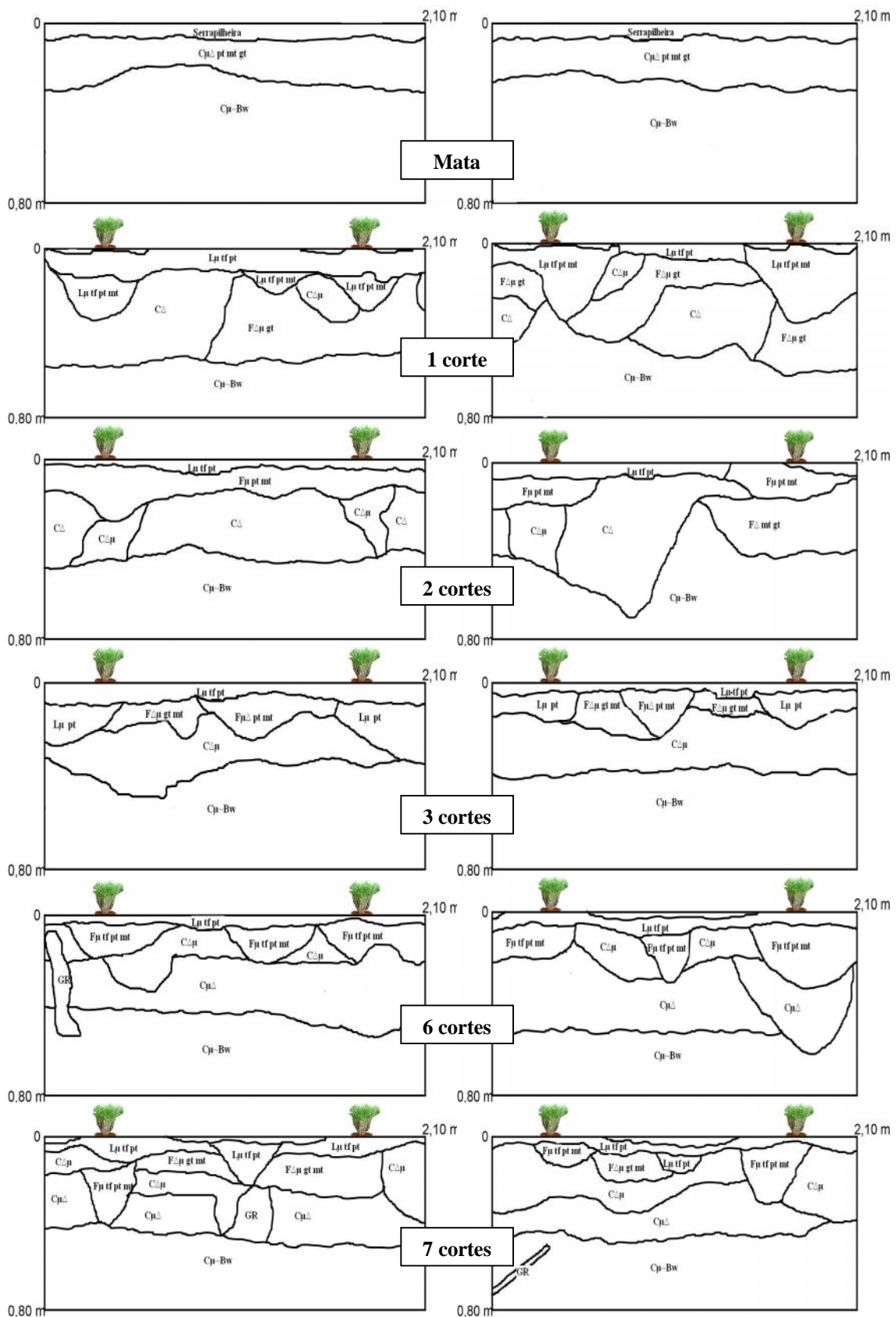


Figura 4.2 – Representação gráfica dos perfis culturas do LVd sob cana-de-açúcar cultivada em diferentes períodos de tempo

Quadro 4.2. Síntese de descrição morfológica dos perfis culturais nas diferentes áreas avaliadas no LVd						
prof (m)	Mata Nativa (Perfis 1 e 2)	1 corte (Perfis 3 e 4)	2 cortes (Perfis 5 e 6)	3 cortes (Perfis 7 e 8)	6 cortes (Perfis 9 e 10)	7 cortes (Perfis 11 e 12)
0,02	Serrapileira (0-0,08m) material vegetal fresco e em decomposição, pequenos torrões de origem biológica, intensa atividade biológica.	Lp tf pt (0-0,10m) 80% terra fina e 20% pequenos torrões muito porosos, efeito do preparo do solo secundário, abundantes raízes, pouca atividade biológica. Atinge 0,12m na entrelinha.	Lp tf pt (0-0,10m) 80% terra fina e 20% pequenos torrões muito porosos, efeito do preparo do solo secundário, abundantes raízes, pouca atividade biológica. Atinge 0,10m na entrelinha.	Lp tf pt (0-0,08m) 80% terra fina e 20% pequenos torrões muito porosos, efeito do preparo do solo secundário, abundantes raízes, pouca atividade biológica. Atinge 0,08m na entrelinha.	Lp tf pt (0-0,08m) 80% terra fina e 20% pequenos torrões muito porosos, efeito do preparo do solo secundário, abundantes raízes, pouca atividade biológica. Atinge 0,08m na entrelinha.	Lp tf pt (0-0,08m) 80% terra fina e 20% pequenos torrões muito porosos, efeito do preparo do solo secundário, abundantes raízes, pouca atividade biológica. Atinge 0,08m na entrelinha.
0,04						
0,06						
0,08						
0,10						
0,12						
0,14						
0,16						
0,18						
0,20						
0,22	CpΔ pt mt gt (0,10-0,30m) estrutura contínua granular microagregada e coesa, pequenos, médios e grandes torrões, muitas raízes, pouca atividade biológica, ligeiramente adensada	Lp tf pt mt (0,10-0,30m) sob touceira e no centro da entrelinha, torrões pequenos e médios com terra fina muito porosos e rugosos, desenvolvimento radicular intra-agregados, raízes arredondadas, pouca atividade biológica, efeito do sulcador, das raízes e triplice cultivo. FΔ pt gt (0,10-0,50m) fissuração mecânica, grandes torrões, pouca porosidade e rugosidade, poucas raízes, faixas sob ação do triplice cultivo e sulco de plantio. CΔp (0,10-0,35m) porosidade e rugosidade média, com poucas raízes, ligeiramente achatadas, localizada em faixas, possível efeito de pressão entre o triplice cultivo e o sulcador. CΔ (0,10-0,55m) estrutura contínua compacta, porosidade e rugosidade não visíveis, poucas raízes, achatadas, localizada em faixas, possível efeito de pressão entre o triplice cultivo e o sulcador ou tráfego de maquinaria.	Fp pt mt (0,06-0,20m) sob touceira com torrões pequenos e médios, muito porosos e rugosos, desenvolvimento radicular intra-agregados, raízes arredondadas, pouca atividade biológica, efeito do sulcador. FΔ mt gt (0,10-0,50m) sob ação do sulcador e na entrelinha, fissuração mecânica com presença de raízes nas fissuras. CΔ e CΔp (0,10-0,50m) estrutura contínua compacta a seco e coesa na entrelinha (CΔ), com pouca porosidade e rugosidade, e moderadamente compacta sob touceira (CΔp) sem porosidade visível, com poucas raízes, achatadas, possível efeito de pressão entre o triplice cultivo e o sulcador ou tráfego de maquinaria.	Lp pt (0,10-0,20m) sob touceira, torrões pequenos muito porosos e rugosos, desenvolvimento radicular intra-agregados, raízes arredondadas, pouca atividade biológica, efeito do sulcador, das raízes. FΔ pt gt (0,10-0,30m) na entrelinha, fissuração mecânica, grandes e médios torrões, pouca porosidade e rugosidade, poucas raízes, em faixas possível efeito de pressão entre o triplice cultivo e o sulcador ou tráfego de maquinaria. Fp pt mt na entrelinha efeito do triplice cultivo. CΔp (0,22-0,45m) na entrelinha, estrutura contínua compactada a seco e coesa, pouca porosidade e rugosidade, poucas raízes, achatadas e verticais entre as fissuras, possível efeito compactador do triplice cultivo e sulcador.	Fp tf pt mt (0,08-0,30m) sob touceira e no centro da entrelinha, terra fina, torrões pequenos e médios, porosidade e rugosidade médias, desenvolvimento radicular intra-agregados, muitas raízes arredondadas, pouca atividade biológica, efeito sulcador e raízes. Lp tf pt (0,05-0,25m) na entrelinha, efeito triplice cultivo. FΔ pt gt mt (0,10-0,30m) na entrelinha, fissuração mecânica, grandes e médios torrões, pouca porosidade e rugosidade, poucas raízes, em faixas possível efeito de pressão entre o triplice cultivo e o sulcador ou tráfego de maquinaria. CΔp (0,06-0,30m) na entrelinha, estrutura contínua compactada, pouco porosa e rugosa, poucas raízes, achatadas, faixas entre as áreas de influência do sulcador e triplice cultivo. GR presença de galerias de origem animal. CpΔ (0,30-0,54m) estrutura contínua pouco compactada, em processo de recuperação, pouca porosidade e rugosidade, poucas raízes, achatadas entre as fissuras e concentradas na touceira.	Fp tf pt mt (0,08-0,25m) sob touceira, terra fina, torrões pequenos e médios, porosidade e rugosidade médias, desenvolvimento radicular intra-agregados, muitas raízes arredondadas, pouca atividade biológica, efeito sulcador e raízes. Lp tf pt (0,05-0,25m) na entrelinha, efeito triplice cultivo. FΔ pt gt mt (0,10-0,30m) na entrelinha, fissuração mecânica, grandes e médios torrões, pouca porosidade e rugosidade, poucas raízes, em faixas possível efeito de pressão entre o triplice cultivo e o sulcador ou tráfego de maquinaria. CΔp (0,06-0,30m) estrutura compactada, pouca porosa e rugosa, poucas raízes, achatadas, faixas entre as áreas de influência do sulcador e triplice cultivo. CpΔ (0,34-0,55m) estrutura contínua pouco compactada em processo de recuperação, pouca porosidade e rugosidade, poucas raízes, achatadas entre as fissuras e concentradas na touceira. GR presença de galerias de formiga e cupins.
0,24						
0,26						
0,28						
0,30						
0,32						
0,34						
0,36						
0,38						
0,40						
0,42	Cp-Bw (0,30-0,80m) estrutura contínua granular microagregada e coesa, poucas raízes, pouca atividade biológica	HAM-Cp-Bw (0,56-0,80m) estrutura contínua granular microagregada e coesa, poucas raízes e pouca atividade biológica.	HAM-Cp-Bw (0,50-0,80m) estrutura contínua granular microagregada e coesa, poucas raízes e pouca atividade biológica.	HAM-Cp-Bw (0,45-0,80m) estrutura contínua granular microagregada e coesa, poucas raízes e pouca atividade biológica.	HAM-Cp-Bw (0,46-0,80m) estrutura contínua granular microagregada e coesa, poucas raízes e pouca atividade biológica. GR galeria de formigas e cupins.	HAM-Cp-Bw (0,55-0,80m) estrutura contínua granular microagregada e coesa, poucas raízes e pouca atividade biológica. GR galeria de formigas e cupins.
0,44						
0,46						
0,48						
0,50						
0,52						
0,54						
0,56						
0,58						
0,60						
0,62						
0,64						
0,66						
↓						
↓						
↓						
↓						
0,80						
HAM-Cp-Bw - estrutura aparentemente não afetada pelo manejo, correspondente ao horizonte Bw dos Latossolos.						

De outra parte, nota-se que apesar de serem realizadas anualmente operações de descompactação nas entrelinhas da cultura, os efeitos positivos disto não são observados ao longo do perfil, sendo possível verificar efeitos benéficos apenas associados ao sistema radicular.

Os dados anteriores permitem evidenciar a grande heterogeneidade estrutural dos perfis cultivados com cana-de-açúcar nos dois solos, onde são encontrados estruturas contínuas com graus diferentes de coesão, denotando uma pressão intensa sobre o solo, indicando que o processo de compactação não atinge uniformemente camadas na mesma profundidade, nem na mesma largura, corroborando o encontrado por Tavares Filho et al. (2001) em Latossolo Roxo argiloso sob cultura de milho.

Analisando os casos isoladamente, observa-se no LVef redução dos efeitos prejudiciais das operações de tríplice cultivo com o passar do tempo, mesmo que estas operações sejam feitas anualmente. Isto significa que este solo possui uma capacidade natural de absorver o impacto da mudança estrutural e que isto, certamente, está sendo favorecido pelo sistema radicular da cultura, ampliando seu efeito, em cada renovação das touceiras de cana-de-açúcar. O talhão com 16 cortes se distingue claramente dos outros, mostrando uma tendência ao reequilíbrio. Assim, a maior degradação estrutural foi constatada na área em primeiro corte, ou seja, onde os efeitos das operações de preparo do solo para a implantação da cultura ainda são visíveis.

No caso do LVd, a análise dos perfis denota um diagnóstico mais crítico, pois os efeitos da alteração estrutural causada pelas operações agrícolas perduram por mais tempo. Considerando que as operações de preparo são iguais em solos diferentes, pode-se concluir que, o impacto do sistema de cultura adotado neste solo é mais agressivo e mais degradante, o que origina maior desagregação, proporcionando um rearranjo das partículas em camadas compactadas de difícil recuperação. Portanto, neste caso, verifica-se um paradoxo: as operações realizadas periodicamente, com o propósito de descompactação, acabam por promover uma desagregação excessiva de algumas camadas do solo, permitindo que as partículas menores ocupem os espaços entre as maiores, aumentando a compactação, de tal forma que as raízes e a movimentação natural de expansão e retração do solo não conseguem combater. Pode ser este o motivo da menor durabilidade dos canaviais nestes solos.

Analisando-se conjuntamente os perfis culturais (1,40 x 0,80 m) para os dois solos (Figuras 4.3 e 4.4), observa-se predomínio da estrutura **C μ** , nas matas, que corresponde

ao Bw dos Latossolos. Nos solos cultivados, a estrutura **C**, e **F** ocupa maior área no LVef, similar ao encontrado por Tavares Filho et al.(1999) em Terra Roxa Estruturada sob cultura da cana, que pode ser resultado do tráfego de máquinas e implementos (SOUZA et al.,2004; CENTURION et al., 2007).

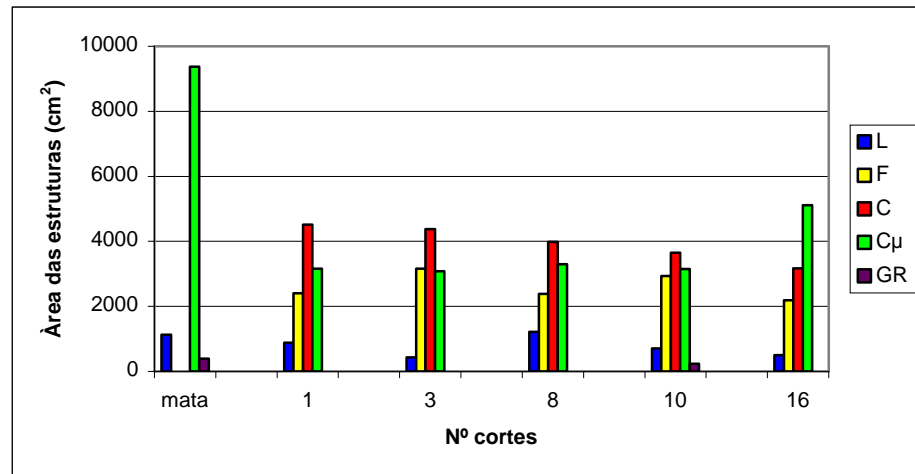


Figura 4.3 – Área das unidades estruturais e de galerias encontradas nos perfis culturais do LVef cultivado com cana-de-açúcar por diferentes períodos de tempo.

Para o LVd, dado seu passado em pastagens, é importante ressaltar a presença de camadas compactadas com estruturas **C**, **C μ** e **F** ao longo do perfil até a profundidade de 0,55 m em talhões com recente uso em cana-de-açúcar, corroborando a alta susceptibilidade deste solo à compactação devida, possivelmente, as práticas de preparo no estabelecimento, assim como do tráfego de implementos e máquinas. Esse fato deve ser levado em conta para estabelecer práticas que minimizem o efeito de compactação do solo, como preparo com umidades adequadas, redução do tráfego sobre a cultura, uso de adubos orgânicos, preservação da palhada e rotação de culturas, entre outras.

O tempo de cultivo diminuiu a presença de estruturas **C** e incrementou a presença da estruturas **C μ** nos dois solos (Figuras 4.3 e 4.4). As estruturas **F** atingem maiores áreas no LVef, com amplos valores nos talhões com 3 e 10 cortes. Por sua vez, para o LVd, as estruturas **F** apresentaram maiores áreas nos talhões com 1, 2, e 7 cortes. As estruturas **L** apresentam maiores áreas nos talhões com 8 cortes no LVef e no talhão com 1 corte no LVd.

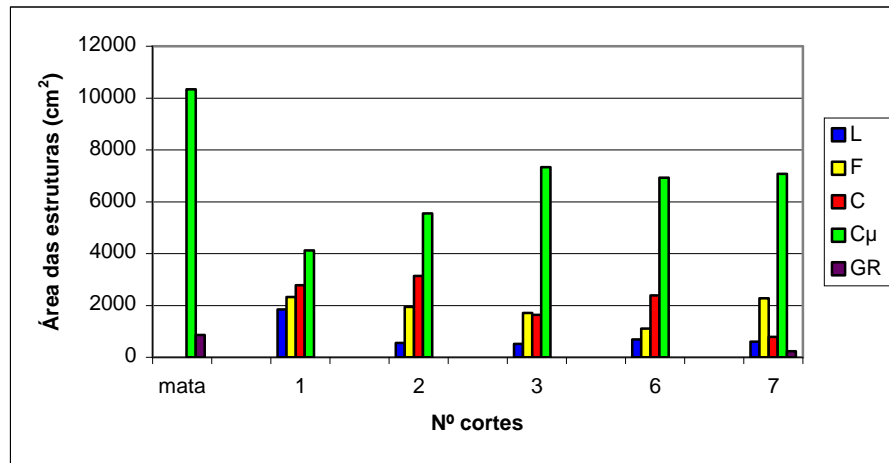


Figura 4.4 – Área das unidades estruturais e de galerias encontradas nos perfis culturais do LVd cultivado com cana-de-açúcar por diferentes períodos de tempo.

A análise de componentes principais (ACP), feito para os perfis culturais nos dois solos, corrobora os dados observados nas Figuras 4.3 e 4.4. Segundo o eixo 1, que representa 44,93% da variabilidade no LVef (Figura 4.5), o talhão com 8 cortes e a mata nativa se correlacionam mais com as estruturas **L** e **C μ** ; e os talhões com 3 e 10 cortes estão mais correlacionados com a estrutura **F**. Segundo o eixo 2, que representa o 26,91% da variabilidade, os talhões com 1 e 3 cortes, correlacionam-se positivamente com as estruturas **C**, e **F**, porém, o talhão com 16 cortes correlaciona-se em forma negativa com estas estruturas.

Para o LVd (Figura 4.6) o ACP permite observar, segundo o eixo 1, que representa o 40,37% da variabilidade, que os talhões com 3, 6 e 7 cortes e mata nativa se correlacionam mais com a estrutura **C μ** e a presença de galerias **GR**, e os talhões com 2 e 1 cortes, encontram-se mais correlacionados com as estruturas **C**, **L** e **F**. Segundo o eixo 2, que representa 34,24% da variabilidade o talhão com 7 cortes correlaciona-se em forma negativa com a estrutura **C** e com presença de galerias **GR** e em forma positiva com a estrutura **F**.

Os dados obtidos mostram que o tempo de cultivo em cana-de-açúcar pode promover uma regeneração estrutural em camadas sub-superficiais dos solos estudados, atribuída, possivelmente, ao crescimento radicular nestas camadas, assim como à possível percolação dos componentes lábeis da MO do solo nos talhões com maior tempo de uso (GRAHAM, apud LUCA et al., 2008), e influir, por conseguinte, sobre alguns atributos físicos como Ds, agregação e porosidade, similar ao encontrado na cultura da cana-de-açúcar

por Silva e Ribeiro (1997) em Latossolo Amarelo argiloso, Muller (2002) em Neossolo Quartzarênico e Maia e Ribeiro (2004b) em Argissolo Amarelo distrófico abrupto fragipânico.

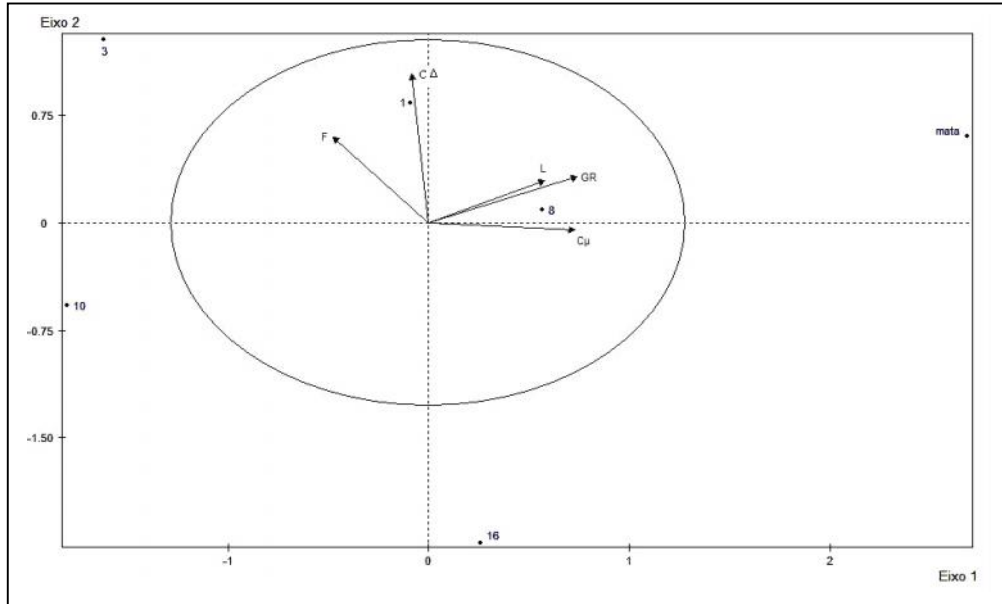


Figura 4.5 – Análise de componentes principais (ACP) dos perfis culturais de LVeF plantado com cana-de-açúcar por diferentes períodos

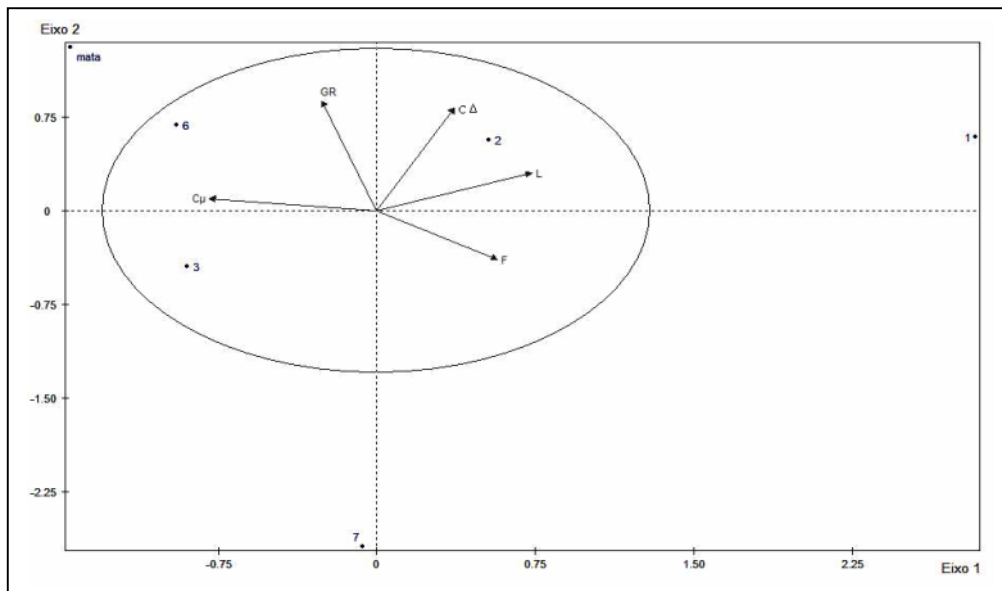


Figura 4.6 – Análise de componentes principais (ACP) dos perfis culturais do LVd plantado com cana-de-açúcar por diferentes períodos.

O estudo do perfil cultural corrobora o encontrado por Ralisch et al. (1994), Ralisch (1995), Ralisch et al. (1995), Tavares Filho et al. (1999), Tavares Filho et al. (2001), Fregonezi et al. (2001) e Neves et al. (2003), mostrando que é uma técnica que pode servir ao diagnóstico qualitativo do estado físico do solo, na descrição da sua organização estrutural e como ferramenta importante na tomada de decisões para o manejo sustentável do solo.

4.4.2 Resistência do solo à penetração (RP)

Os resultados da RP, obtidos com o penetrômetro eletrônico, para as amostragens feitas a 0,35 e a 0,70 m da touceira na entrelinha, no LVef e LVd, são apresentadas nas Figuras 4.7 e 4.8. Pode-se observar que os diferentes períodos de cultivo, nas duas amostragens, originaram acréscimos da RP comparados com as matas nativas, nos dois solos. Cabe destacar que para a umidade gravimétrica, nos dois solos, não foi possível encontrar diferenças significativas entre os talhões avaliados nas profundidades estudadas. Os valores de umidade gravimétrica oscilaram entre 0,21-0,28 kg kg⁻¹ e entre 0,13-0,19 kg kg⁻¹ para o LVef e LVd, respectivamente, ficando próximos da umidade na capacidade de campo.

A mata nativa no LVef com umidade gravimétrica média de 0,28 kg kg⁻¹, apresentou acréscimos nos valores de RP em profundidade, com valores de até 2,5 MPa a 0,50 m de profundidade (Figura 4.7). Por sua vez, no LVd, com umidade gravimétrica média de 0,19 kg kg⁻¹, a mata nativa apresentou valores de RP, na camada entre 0,20-0,25 m, de até 1,6 MPa com menores valores em profundidade (Figura 4.8).

Nos valores obtidos a 0,35 m da touceira (Figura 4.7A), o tempo de cultivo no LVef, proporcionou camadas compactadas entre 0,10-0,25 m de profundidade, com valores de RP máximos de 5,3, 4,8 e 4,6 MPa, nos talhões com 8, 10 e 16 cortes, respectivamente, com decréscimos em profundidade, obtendo valores estatisticamente similares aos de mata nativa na profundidade de 0,45-0,50 m. No talhão com 3 cortes, a camada compactada foi observada entre 0,10-0,30 m, com valores máximos de RP de 3,8 MPa. O talhão com 1 corte apresentou tendência similar à encontrada na mata nativa, obtendo os menores valores de RP entre os talhões cultivados. Não foi possível observar diferenças significativas entre os talhões cultivados e a mata nativa, a partir de 0,40 m.

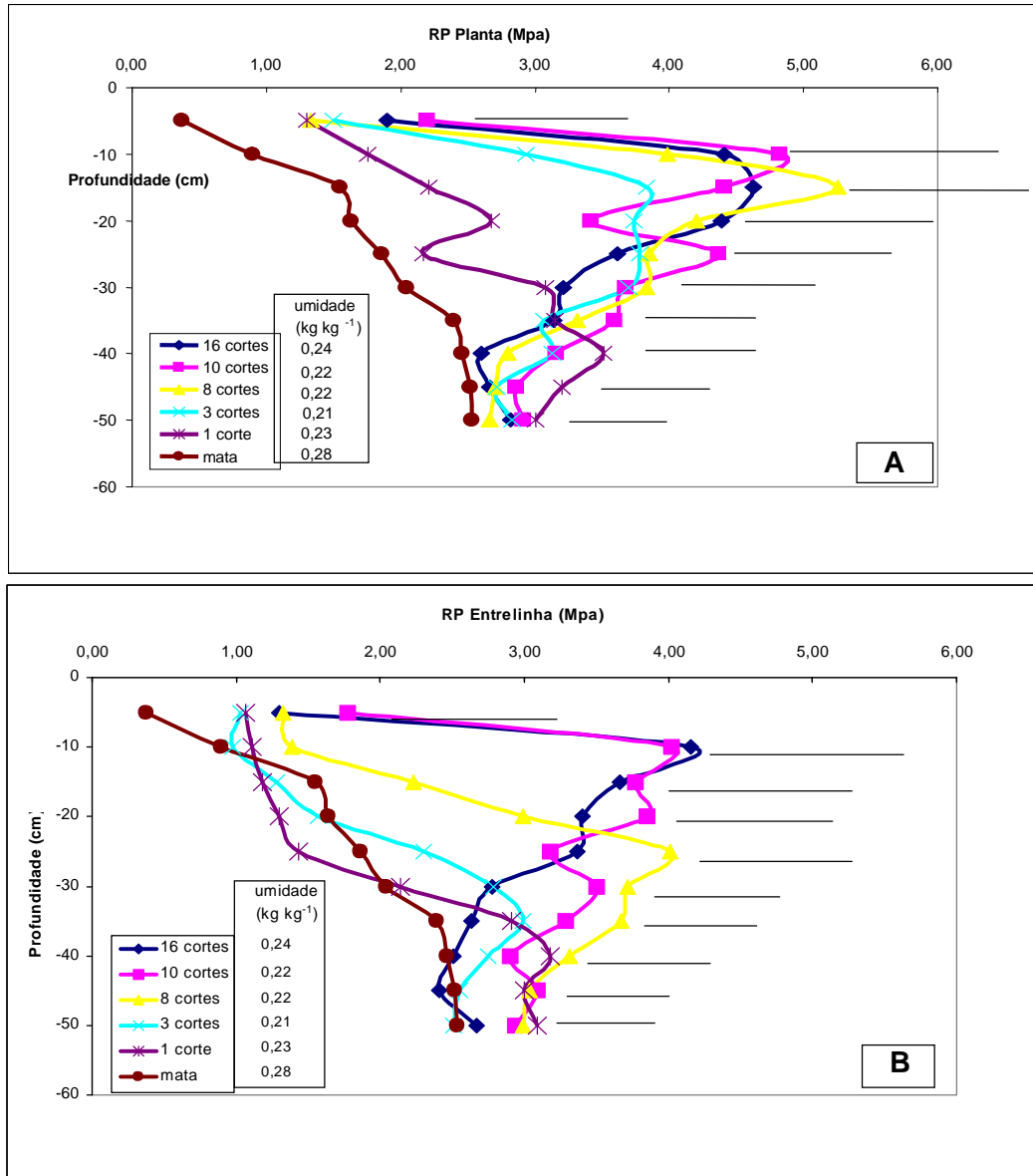


Figura 4.7 – Valores médios de resistência do solo à penetração no LVef com cana-de-açúcar para diferentes cortes. (A) Amostragem a 0,35 m da touceira e (B) Amostragem a 0,70 m da touceira. Barras horizontais representam DMS (Tukey 5%).

Já os obtidos a 0,70 m da touceira, na entrelinha, no LVef (Figura 4.7B), observa-se o efeito de tríplice cultivo, com decréscimos na RP nos talhões onde foi realizada esta prática (1, 3 e 8 cortes), com valores de RP inferiores a 4,0 MPa em camadas compactadas à maior profundidade (0,20-0,40 m), quando comparada com os valores obtidos a 0,35 m da touceira. Destaca-se o comportamento dos talhões com 8 e 3 cortes, os quais atingiram valores máximos de 4,0 e 3,0 MPa, nas profundidades entre 0,20-0,25 e 0,30-0,35 m, respectivamente, inferiores em 1,3 e 0,8 MPa aos valores de RP obtidos a 0,35 m, na

profundidade entre 0,10-0,15 m. Encontra-se ainda que no talhão com 1 corte os valores de RP foram inferiores aos de mata entre 0,10-0,30 m de profundidade. Os talhões onde não se realizou o tríplice cultivo (10 e 16 cortes) apresentaram valores de RP inferiores aos encontrados a 0,35 m da touceira.

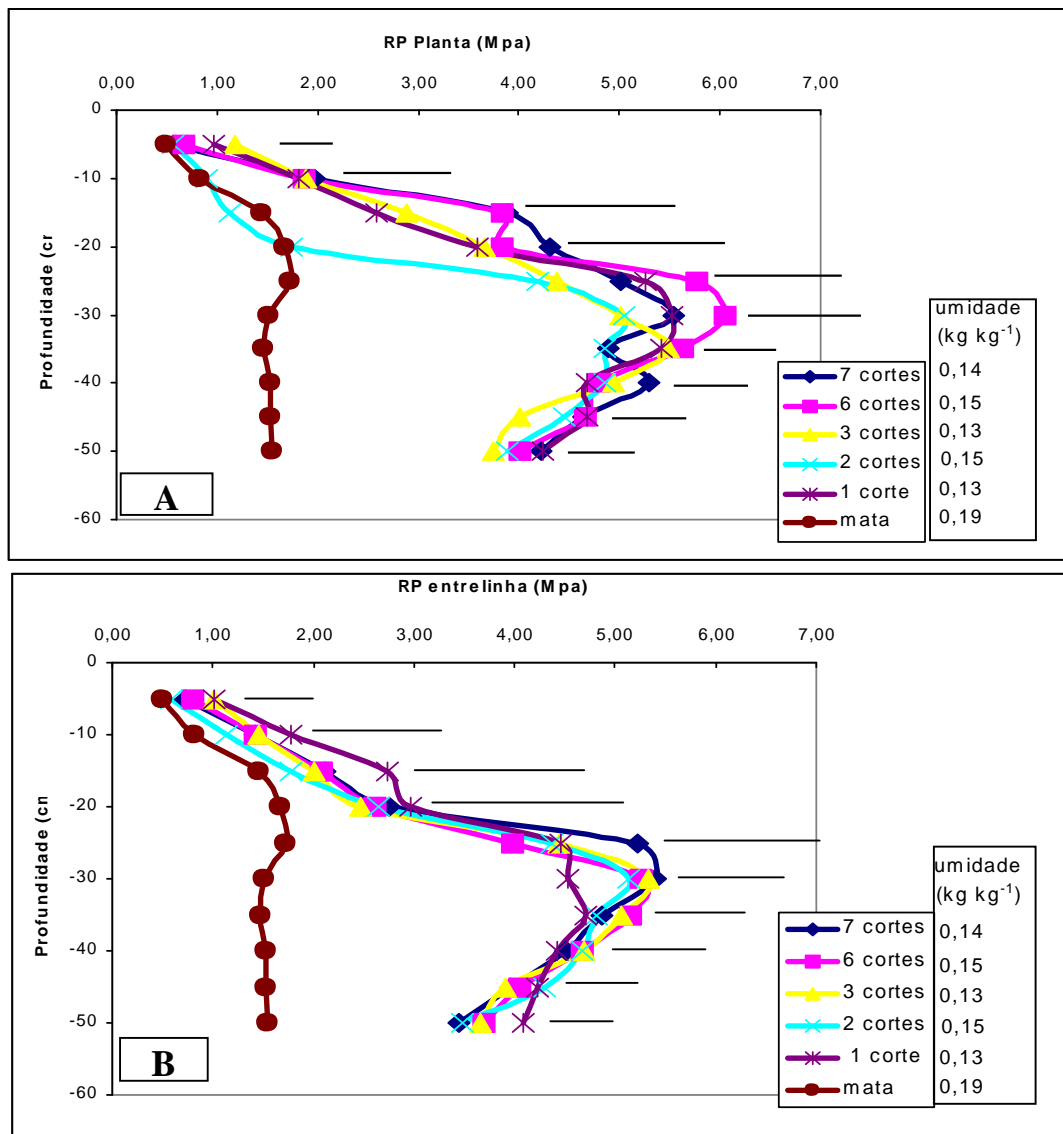


Figura 4.8 – Valores médios de resistência do solo à penetração no LVd com cana-de-açúcar para diferentes cortes. (A) Amostragem a 0,35 m da touceira e (B) Amostragem a 0,70 m da touceira. Barras horizontais representam DMS (Tukey 5%).

Em geral, os valores de RP obtidos para o LVd (Figura 4.8), foram maiores que para o LVec. A 0,35 m da touceira (Figura 4.8A), os talhões cultivados com 7, 6, 3 e 1 cortes, apresentaram RP máxima de 6,1 MPa em camadas compactadas entre 0,15 e 0,50 m,

sem diferenças significativas entre eles nas diferentes profundidades. Para o talhão com 2 cortes, a camada compactada foi observada entre 0,25-0,50 m, com os menores valores de RP, sem diferenças significativas com os demais talhões abaixo dos 0,30 m de profundidade.

A 0,70 m da touceira (Figura 4.8B), foram observados efeitos do triplice cultivo, especialmente nos talhões com 1 e 6 cortes, levando a camada compactada 0,05 m mais abaixo da observada a 0,35 m da touceira. Não foram encontradas diferenças significativas para RP entre os talhões cultivados e a mata nativa até a profundidade de 0,20 m. A partir dos 0,20 m e até 0,50 m de profundidade, observa-se uma camada compactada nos talhões cultivados, com RP máximo de 5,4 MPa obtida no talhão com 7 cortes, significativamente superior a RP obtida na mata; porém, sem diferenças entre os outros. Talhões cultivados.

Valores similares e incrementos de RP em diferentes camadas, na cultura de cana-de-açúcar com diferentes ciclos, são reportados por Souza et al. (2004) em Latossolo Vermelhos eutroférico com umidade gravimétrica de $0,22 \text{ kg kg}^{-1}$, em cana com mais de 30 anos; Souza et al. (2006), em Latossolo Vermelho distrófico com umidade gravimétrica média de $0,17 \text{ kg kg}^{-1}$, em cana com mais de 30 anos; Brito et al. (2006), em Latossolo Vermelho eutroférico com umidade do solo variando entre $0,28-0,34 \text{ kg kg}^{-1}$, em cana com mais de 30 anos; Iaia et al. (2006), em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico Típico, textura média com cana de 2 e 4 cortes e Azevedo (2008), em Latossolo Vermelho eutroférico com umidade entre $0,15-0,28 \text{ kg kg}^{-1}$, com cana de 3 e 4 cortes.

Cabe destacar que, mesmo os menores valores de RP em profundidade nos solos cultivados no LVd (3,4 MPa a 0,50 m), são superiores em 1,8 MPa ao máximo valor obtido na mesma profundidade para mata nativa, mostrando que o cultivo de cana-de-açúcar neste tipo de solo pode originar compactação em profundidade. Resultados similares foram encontrados por Barbieri et al. (1997), em um Latossolo Roxo avaliando sistemas de preparo do solo para cana-de-açúcar, os quais verificaram que a compactação do solo atingiu até 0,6 m de profundidade, principalmente no preparo com grades pesadas. Segundo Iaia et al. (2006), este efeito poder ser originado pela lixiviação e deposição de partículas de menor diâmetro em profundidade, gerada pela desagregação pelos implementos nas diferentes etapas da cultura.

Os menores valores de RP nas camadas superiores dos talhões cultivados com menor tempo no LVef (1, 3 e 8 cortes), assim como nos talhões com 1 e 6 cortes no LVd, a 0,70 m da touceira, coincidem com a área de influência do triplice cultivo, com estruturas **F_μ, F_μ, L_μ, L_μ** (que apresentam pequenos, médios e grandes torrões, com rugosidade e porosidade variável e presença de abundantes raízes), indicando um possível efeito

“descompactador” desta prática nesta parte da entrelinha (PAULINO et al., 2004; CAMILOTTI et al., 2005).

Por sua vez, os maiores valores de RP, observados tanto no LVef quanto no LVd, a 0,35 m da touceira, nas camadas entre 0,10-0,40 e 0,20-0,50 m de profundidade, respectivamente, coincidem em grande parte com a presença de camadas com estruturas compactas (C , C_{μ} , F) localizadas entre as áreas de influência do sulcador e do tríplice cultivo (Quadro 4.1 e 4.2), abrangendo profundidades entre 0,10-0,50 m, possível relíquia da lavoura convencional dos manejos anteriores no LVef, ou ocasionadas tráfego de máquinas e implementos na cultura da cana, mostrando que o uso do tríplice cultivo precisa de maiores estudos que permitam conhecer seus verdadeiros efeitos na compactação dos solos.

Na literatura, são encontrados diferentes valores de RP considerados restritivos ao crescimento das raízes de diferentes culturas, mesmo sendo obtidos em diferentes solos e com diferentes instrumentos e metodologias. Grande parte destes limites críticos foram obtidos em amostras indeformadas em cilindros ou vasos simulando as condições do solo em campo (BEUTLER; CENTURION, 2004a, 2004b; ARAÚJO et al., 2004; TORMENA et al., 2007; BEUTLER et al., 2006; BEUTLER et al., 2007). Segundo Tormena e Roloff (1996), o valor de 2 MPa foi citado por Taylor e Gardner (1963), como impeditivo ao crescimento das raízes de algodão e passou a ser usado, de esta forma, por diferentes autores. Tormena et al. (1998), classificaram esse valor como restritivo, mas não impeditivo ao crescimento de raízes.

Em geral, valores de RP considerados críticos ao crescimento radicular, de varias culturas variam de 1,5 a 3,5 MPa (BEUTLER; CENTURION, 2004a, 2004b; ARAÚJO et al., 2004; BEUTLER et al., 2006; BEUTLER et al., 2007; TORMENA et al., 2007). O valor de 3,5 MPa em amostras indeformadas em anéis, foi utilizado por Tormena et al. (2007) como limite crítico em Latossolo Vermelho distroférico cultivado em longo prazo sob plantio direto com diferentes sistemas de produção, justificado pela presença de bioporos contínuos e efetivos no solo sob plantio direto. Segundo Blainski et al. (2008), a presença de bioporos estáveis e contínuos no solo pode contribuir para a formação de rotas alternativas de baixa RP, possibilitando o crescimento das raízes numa matriz de solo densa.

Os resultados obtidos permitiram encontrar que o tempo de cultivo, tanto no LVef quanto no LVd, proporcionou camadas compactadas com valores de RP superiores a 4,0 MPa; porém, não foi encontrada uma restrição total ao crescimento radicular, em camadas sub-superficiais, mesmo observando-se algum grau de deformação morfológica como achatamento das raízes nestas camadas (Quadro 4.1 e 4.2); similar ao encontrado por Tavares

Filho (2001), em Latossolo Roxo argiloso sob cultura de milho, onde valores de RP de 3,91 e 4,06 MPa no sistema de plantio direto e convencional, respectivamente, não foram impeditivos ao crescimento radicular, embora estas tenham sofrido deformações morfológicas.

Azevedo (2008) trabalhando em Latossolo Vermelho eutroférico plantado com cana de 3 e 4 cortes, encontrou que valores de RP máximos de 9,6 MPa com umidade gravimétrica entre 0,15 e 0,28 kg kg⁻¹ não foram restritivos para o crescimento das raízes e das plantas, atribuído á grande heterogeneidade estrutural do solo que permitiu o crescimento das raízes até 4,3 m de profundidade.

O anterior indica que as raízes reagem às condições adversas do solo e procuram estruturas de solo onde as condições de umidade, nutrição e impedância mecânica sejam adequadas para seu desenvolvimento (TAVARES FILHO et al., 2001; TORMENA et al., 2007; AZEVEDO, 2008; BLAINSKI et al., 2008), mostrando que, nos estudos da compactação do solo, mais importante do que sua quantificação é sua classificação e descrição para ter uma melhor compreensão sobre seu efeito no crescimento radicular das plantas.

4.4.3 Densidade do solo macroporos e microporos

As menores Ds no LVef e LVd (Tabela 4.3), foram observadas na camada entre 0,0-0,10 m de profundidade, tanto nos talhões cultivados quanto nas áreas de mata, relacionado aos maiores teores de CO (Tabela 4.1) possibilitando melhor estruturação, cujo efeito é mais evidente no solo de mata nativa devido à ausência de tráfego de máquinas agrícolas e não remoção da vegetação.

No LVef, o tempo de cultivo proporcionou incrementos na Ds nos primeiros 0,10 m, com diferenças significativas apenas nos talhões com 16 e 1 cortes. Nas camadas entre 0,10-0,40 m não foram encontradas diferenças significativas entre os talhões cultivados. Para o LVd, o tempo de cultivo em cana-de-açúcar, não proporcionou variações significativas na Ds nos primeiros 0,20 m de profundidade, mas apresentou decréscimos significativos nos talhões com 3, 6 e 7 cortes, na camada de 0,20-0,40 m de profundidade, onde os talhões com 1 e 2 cortes, apresentaram os maiores valores de Ds (1,59 Mg m⁻³), mostrando efeitos de compactação em profundidade neste solo, já nos primeiros anos de cultivo.

Tabela 4.3 – Valores médios de densidade do solo (Ds) macroporosidade e microporosidade de diferentes camadas em LVef e LVd plantado com cana *

LVef				LVd			
cortes	Ds	macroporos	microporos	cortes	Ds	macroporos	microporos
Nº	Mg m ⁻³	(m ³ m ⁻³)		Nº	Mg m ⁻³	(m ³ m ⁻³)	
0,0-0,10 m							
Mata	1,13 c	0,183 a	0,301 bcde	Mata	1,24 b	0,154 a	0,129 b
1	1,40 b	0,115 b	0,284 e	1	1,49 a	0,106 bc	0,129 b
3	1,42 ab	0,100 bc	0,319 abcd	2	1,49 a	0,116 b	0,130 b
8	1,44 ab	0,109 bc	0,339 a	3	1,52 a	0,075 d	0,142 ab
10	1,42 ab	0,080 c	0,322 abc	6	1,50 a	0,079 cd	0,142 ab
16	1,51 a	0,064 d	0,323 ab	7	1,54 a	0,072 d	0,154 a
CV (%)	7,04	17,21	5,79	CV (%)	4,91	28,38	6,79
DMS	0,101	0,033	0,032	DMS	0,120	0,028	0,017
0,10-0,20 m							
Mata	1,22 b	0,163 a	0,287 c	Mata	1,29 b	0,154 a	0,127 b
1	1,43 a	0,093 b	0,290 c	1	1,58 a	0,056 b	0,128 b
3	1,47 a	0,060 c	0,333 ab	2	1,57 a	0,085 b	0,128 b
8	1,49 a	0,057 c	0,325 abc	3	1,57 a	0,073 b	0,134 ab
10	1,49 a	0,055 c	0,313 abc	6	1,51 a	0,081 b	0,136 ab
16	1,50 a	0,059 c	0,337 a	7	1,57 a	0,074 b	0,145 a
CV (%)	5,57	22,95	6,27	CV (%)	4,07	28,14	5,98
DMS	0,140	0,032	0,034	DMS	0,103	0,042	0,014
0,20-0,40 m							
Mata	1,16 b	0,188 a	0,301 d	Mata	1,30 c	0,179 a	0,135 b
1	1,45 a	0,047 c	0,296 d	1	1,59 a	0,065 bc	0,138 ab
3	1,47 a	0,053 bc	0,350 ab	2	1,59 a	0,064 bc	0,140 ab
8	1,43 a	0,066 bc	0,348 abc	3	1,42 b	0,061 c	0,145 ab
10	1,45 a	0,053 bc	0,341 abc	6	1,47 b	0,094 bc	0,139 ab
16	1,40 a	0,073 b	0,364 a	7	1,50 b	0,098 b	0,156 a
CV (%)	5,03	19,86	5,47	CV (%)	3,34	21,18	8,18
DMS	0,124	0,022	0,032	DMS	0,083	0,034	0,020

*Valores representam a media de 6 amostras. Médias seguidas da mesma letra para cada profundidade, na coluna, não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%)

A pequena variação de Ds nos primeiros 0,20 m de profundidade no LVef, exceto para o talhão com 16 cortes, na camada entre 0,0-0,10 m, mostra um pequeno efeito do tempo de cultura sobre este atributo físico, e pode ter explicação por seu passado no sistema de rotação com culturas anuais em sistema de lavoura convencional, que propiciaram

compactação do solo (CARPENEDO; MIELNICSUK,1990), permitindo encontrar, ainda, relíquias dos efeitos deste sistema, principalmente nos talhões cultivados com menor tempo de uso.

No entanto, para o LVd, onde o sistema anterior foi de pastagens, com menor intensidade da mecanização, as práticas de preparo e tráfego de maquinaria já originam altas Ds nos talhões com menor tempo de uso em todas as camadas avaliadas, obtendo-se os maiores valores nas camadas de 0,20-0,40 m (Figura 4.8), mostrando maior susceptibilidade deste solo aos efeitos de compactação derivados das práticas de manejo da cultura da cana.

Efeitos de compactação em camadas superficiais derivados da monocultura de cana-de-açúcar e tráfego de maquinaria são reportados por Cerri et al. (1991) e Oliveira et al. (1995) em Latossolos Vermelhos escuros e Centurion et al. (2007) em Latossolo Vermelho caulínítico-oxídico argiloso.

As maiores Ds para o LVef, com valores entre 1,40-1,51 Mg m⁻³, e entre 1,49–1,59 Mg m⁻³ para o LVd, coincidem com os maiores valores de RP nos talhões cultivados encontrados nas camadas entre 0,10-0,25 m e 0,15-0,50 m de profundidade, a 0,35 m da touceira, mostrando uma relação direta entre Ds e RP, similar ao reportado por Souza et al. (2006) em Latossolo Vermelho eutroférico, sob cultivo de cana-de-açúcar, e Beutler et al. (2007) em Latossolo Vermelho distrófico textura média e Latossolo Vermelho eutroférico.

Existe um predomínio de microporos nos dois solos (Tabela 4.3), com efeitos mais evidentes no LVef devido a seu caráter mais argiloso. Valores de macroporosidade próximos entre si foram observados nas duas classes de solos, sendo significativamente maiores na mata, em decorrência das menores Ds e maiores teores de CO (Tabela 4.1).

O tempo de cultivo em cana-de-açúcar proporcionou, nos dois solos, decréscimos nos valores de macroporosidade nas camadas entre 0,0-0,10 m de profundidade, encontrando-se valores significativamente menores nos talhões com 10 e 16 cortes no LVef e com 3, 6 e 7 cortes no LVd. Na camada entre 0,10-0,20 m, o talhão com 1 corte apresentou o maior valor de macroporosidade no LVef (0,093 m³ m⁻³), diferente estatisticamente dos demais talhões cultivados. No LVd, não foram encontradas diferenças significativas entre os talhões cultivados nesta camada. Na camada entre 0,20-0,40 m, foram observados acréscimos na macroporosidade com o tempo de cultivo nos dois solos, encontrando-se os maiores valores no talhão com 16 cortes no LVef com diferenças para o talhão com 1 corte e no talhão com 7 cortes no LVd com diferença para o talhão com 3 cortes.

Cabe destacar os valores de macroporosidade menores que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nos talhões com 10 e 16 cortes na camada de 0,0-0,10 m em todos os talhões cultivados nas camadas entre 0,10-0,40 m de profundidade no LVef, e nos talhões com 3, 6 e 7 cortes nos primeiros 0,10 m de profundidade e todos os talhões cultivados nas camadas entre 0,10-0,40 m de profundidade no LVd. Sobre este aspecto Baver et al. (1973), Tormena et al. (2004) e Centurion et al. (2007) consideram o valor de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ como o mínimo de poros de aeração para a maioria das culturas para promover o desenvolvimento satisfatório do sistema radicular, indicando possíveis dificuldades na aeração nas camadas compactadas dos talhões com maior tempo de uso, especialmente entre 0,10-0,40 m de profundidade nos dois solos avaliados.

A microporosidade apresentou tendência contrária à encontrada com a macroporosidade, observando-se menores valores nos solos de matas nativas e acréscimos com o tempo de cultivo nos dois solos avaliados. Na camada entre 0,0-0,10 m, o tempo de cultivo no LVef, proporcionou acréscimos na microporosidade, com diferenças significativas entre o talhão com 1 corte e os demais talhões cultivados. Nas camadas entre 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, o talhão com 16 cortes apresentou os maiores valores de microporosidade, com diferenças estatísticas para o talhão com 1 corte.

Para o LVd, os maiores valores de microporosidade, nas camadas entre 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m, foram observados no talhão com 7 cortes, diferente significativamente dos talhões com 1 e 2 cortes. Não foram encontradas diferenças significativas entre os talhões cultivados para este solo, na camada entre 0,20-0,40 m de profundidade.

Os maiores valores de microporosidade nos solos cultivados por mais tempo são derivados da destruição de agregados superficiais originado pelo tráfego de máquinas que comprime os poros de maior diâmetro (SILVA et al., 2005), efeito, que pode ter sido acentuado nos dois solos pela queima da palhada e conseqüente diminuição de CO, similar ao encontrado em cana-de-açúcar por Cerri et al. (1991), Ceddia et al. (1999), Souza et al. (2005), Silva et al. (2005), Centurion et al. (2007) e Luca et al. (2008).

Os anteriores resultados corroboram que, no processo de compactação do solo, ocorre transformação de macro em microporos (KLEIN; LIBARDI, 2002) e que a microporosidade do solo é fortemente influenciada pelo teor de CO, pela fração textural e pela densidade do solo (SILVA et al., 2005; CENTURION et al., 2007).

Os acréscimos de Ds e decréscimos de macroporosidade decorrentes do tempo de cultivo, nos primeiros 0,20 m de profundidade tanto no LVef quanto no LVd, coincidem com a presença de estruturas **C e F** (compactadas, com torrões muito grandes,

pouca porosidade e rugosidade visíveis, poucas raízes ligeiramente achatadas), localizadas entre as áreas de influência do sulcador e do tríplice cultivo, Da mesma forma, os decréscimos de D_s e acréscimos de macroporosidade na camada de 0,20-0,40 m, coincidem com a presença de estruturas C_{μ} e $C_{\mu} \text{ gt}$, F_{μ} , localizadas geralmente, sob a anterior estrutura, com grandes torrões (> 0,20 m) com porosidade e rugosidade média, raízes crescendo entre as fissuras, principalmente nos talhões com maior número de cortes, mostrando efeitos de regeneração estrutural em camadas sub-superficiais (Figuras 4.1 e 4.2).

Fregonezi et al. (2001) estudando diferentes sistemas de pastagens em Latossolo Vermelho Amarelo argiloso, associou valores de densidade nos torrões de 1,15 a 1,49 Mg m^{-3} com volumes de solo F_{μ} , F_{μ} no sistema com *Brachiaria decumbens* renovada e consorciada com *Stylosanthes quianensis*, e de 1,12 a 1,13 Mg m^{-3} com volumes de solo F_{μ} , F_{μ} e C_{μ}/μ , no sistema de *Brachiaria decumbens* com manejo convencional. Valores de 1,05 e 1,01 Mg m^{-3} estiveram associados com volumes de solo L_{μ} e C_{μ} .

Os resultados obtidos permitem inferir que o tempo de cultivo da cana-de-açúcar pode melhorar a estruturação e diminuir a compactação do solo em camadas sub-superficiais, efeito que pode estar associado à presença de raízes nestas camadas, corroborando o encontrado por Silva e Ribeiro (1997), em Latossolo Amarelo argiloso plantado com cana por 2, 18 e 25 anos; Muller (2002), em Neossolo Quartzarênico, plantado com cana por 5 e 25 anos; Maia e Ribeiro (2004b), em Argissolo Amarelo distrófico abrupto fragipânico sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar por 2 e 30 anos; e Azevedo (2008), em Latossolo Vermelho eutroférico plantado com cana por 2 e 4 cortes.

4.4.4 Distribuição de raízes

A densidade de comprimento de raízes, densidade de massa seca de raízes e área de raízes, apresentam um comportamento similar em todos os talhões e profundidades avaliadas, tanto no LVef quanto no LVd (Tabela 4.4), mostrando sua alta relação entre si. De outra parte, observa-se grande variação dos dados obtidos nas 3 variáveis avaliadas, fato freqüentes no estudo de raízes (ALVAREZ et al., 2000; INGRAM; LEERS, 2001; AZEVEDO, 2008).

No LVef (Tabela 4.4), na variedade SP 77-5181, plantada nos talhões com 1, 3 e 8 cortes, não foi observada uma tendência definida para densidade de comprimento,

densidade de massa seca e área de raízes entre os diferentes períodos de cultivo; encontrando-se somente maior acumulação de raízes na camadas entre 0,05 a 0,15 m de profundidade; os valores para estas variáveis, oscilaram entre 0,36 e 2,02 cm cm^{-3} ; 0,20 e 0,96 mg cm^{-3} e 1,61 e 7,68 $\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$, respectivamente. Efeito similar foi observado na variedade BR 85-5156 plantada no talhão com 10 cortes, com valores que oscilaram entre 0,63 e 1,32 cm cm^{-3} ; 0,30 e 0,65 mg cm^{-3} e 2,93 e 5,26 $\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$, para densidade de comprimento de raízes, densidade de massa seca de raízes e área de raízes, respectivamente. Na variedade BR 72-454, plantada no talhão com 16 cortes, as mesmas variáveis, apresentaram decréscimos em profundidade com valores que oscilaram entre 0,53 e 1,16 cm cm^{-3} ; 0,22 e 0,65 mg cm^{-3} e 2,35 e 5,63 $\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$, respectivamente.

No LVd (Tabela 4.4), na variedade RB 86-7515, plantada nos talhões com 1 e 2 cortes, foram observados maiores valores de densidade de comprimento, densidade de massa seca e área de raízes no talhão com 1 corte com decréscimos em profundidade; no talhão com 2 cortes, observou-se incrementos nos valores das 3 variáveis na camada entre 0,35-0,45 m de profundidade, oscilando entre 0,25 e 3,42 cm cm^{-3} ; 0,14 e 1,82 mg cm^{-3} ; 0,78 e 10,89 $\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$, respectivamente. Na variedade RB 92-8064, plantada no talhão com 3 cortes, observa-se maiores valores na camada entre 0,05-0,15 m com acréscimos entre 0,35-0,45 m, especialmente para comprimento e massa seca de raiz, oscilando entre 0,37 e 4,06 cm cm^{-3} ; 0,22 e 2,85 mg cm^{-3} e 1,25 e 10,87 $\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$, respectivamente. Na variedade RB 85-5536, plantada nos talhões com 6 e 7 cortes, observa-se que os maiores valores foram encontrados na camada de 0,05-0,15 m, com acréscimos entre 0,35-0,45 m de profundidade, variando entre 0,32 e 4,96 cm cm^{-3} ; 0,20 e 3,22 mg cm^{-3} e 1,26 e 18,01 $\text{mm}^2 \text{cm}^{-3}$, respectivamente.

Em termos gerais, observa-se que para o LVd os maiores valores das variáveis avaliadas, nas diferentes variedades, se concentram principalmente na camada superficial de 0,05-0,15 m e apresentam acréscimos na camada entre 0,35-0,45 m de profundidade, exceto para a cana planta (1 corte), corroborando o encontrado por Vasconcelos e Garcia (2005), os quais salientam que a cana-planta explora mais intensamente a superfície do solo, enquanto que as soqueiras, o solo em maiores profundidades.

Os dados obtidos confirmam o encontrado por Faroni (2004) e Faroni e Trivelin (2006) que atribuem a distribuição das raízes no solo como resultado de uma série de processos complexos e dinâmicos que incluem as interações entre o ambiente, solo e as plantas em pleno crescimento, similar ao reportado por (VASCONCELOS et al., 2003; VASCONCELOS; GARCIA, 2005; COSTA et al., 2007).

Os valores para densidade de comprimento e densidade de massa seca de raízes, são similares aos encontrados por Vasconcelos et al. (2003) em Latossolo Vermelho distrófico típico álico textura média A moderado, cultivados com cana crua e queimada com 2 a 4 cortes, Faroni e Trivelin (2006) em Latossolo Vermelho distrófico com cana em segunda rebrota e Azevedo (2008) em Latossolo Vermelho eutrófico com cana de 3 e 4 cortes.

Tabela 4.4 – Valores médios para densidade de comprimento, densidade de massa seca e área de raízes em três profundidades no LVef e LVd plantados com cana por vários períodos *

Cortes Nº	Variedade	Densidade de comprimento			Densidade de massa seca			Área de raiz		
		cm cm ⁻³			mg cm ⁻³			mm ² cm ⁻³		
		Profundidade (m)			Profundidade (m)			Profundidade (m)		
		0,05-0,15	0,20-0,30	0,35-0,45	0,05-0,15	0,20-0,30	0,35-0,45	0,05-0,15	0,20-0,30	0,35-0,45
LVef										
1	SP 77-5181	1,11	0,36	0,70	0,58	0,31	0,37	4,06	1,64	2,33
3	SP 77-5181	0,84	0,49	0,56	0,57	0,39	0,20	2,89	2,03	1,61
8	SP 77-5181	2,02	1,30	0,96	0,96	0,67	0,38	7,68	6,11	4,09
10	RB 85-5156	1,32	0,63	0,77	0,65	0,38	0,30	5,26	2,93	3,00
16	RB 72-454	1,16	0,99	0,53	0,65	0,35	0,22	5,63	3,50	2,35
LVd										
1	RB 86-7515	3,42	2,08	0,83	1,82	0,97	0,37	10,89	6,01	2,80
2	RB 86-7515	2,95	0,25	0,74	1,35	0,14	0,38	8,27	0,78	2,44
3	RB 92-8064	4,06	0,37	0,45	2,85	0,22	0,27	10,87	1,36	1,25
6	RB 85-5536	4,96	1,44	1,53	3,22	0,73	0,76	18,01	5,80	6,16
7	RB 85-5536	2,81	0,32	0,33	1,85	0,20	0,22	12,05	1,26	1,66

*Valores representam a média de 3 amostras.

Na Tabela 4.5, são apresentados os dados médios para cada profundidade observando-se decréscimos significativos nos valores de densidade de comprimento, densidade de massa e área de raízes em profundidade, com efeitos mais evidentes na camada entre 0,05-0,15 m para 0,20-0,30 m. Não foram observadas diferenças significativas para estas mesmas variáveis nas camadas entre 0,20-0,30 m e 0,35-0,45 m de profundidade, para os dois solos avaliados.

Os valores de densidade de comprimento, densidade de massa seca e área de raízes obtidas no LVd, na camada entre 0,05-0,15 m (3,64 cm cm⁻³, 2,22 mg cm⁻³, e 12,02 mm² cm⁻³, respectivamente), superam em 2,82; 3,26 e 2,35 vezes, respectivamente, os valores obtidos para estas mesmas variáveis no LVef na mesma profundidade. Este fato é de grande importância devido aos maiores aportes de CO pelas raízes nas camadas superficiais do LVd,

que pode ter influencia nos atributos físicos, químicos e biológicos neste solo, similar ao encontrado por Cerri et al. (1998), Silva e Ribeiro (1997), Dominy et al. (2002), Maia e Ribeiro (2004a,2004b), Centurion et al. (2007) e Luca et al. (2008) em diferentes solos plantados com cana-de-açúcar.

Tabela 4.5 – Valores médios por profundidade e número de cortes, da densidade de comprimento, densidade de massa seca e área de raízes no LVef e LVd plantados com cana por vários períodos *

Prof.	LVef			LVd		
	Densidade de comprimento	Densidade de massa seca	Área de raiz	Densidade de comprimento	Densidade de massa seca	Área de raiz
m	cm cm ⁻³	mg cm ⁻³	mm ² cm ⁻³	cm cm ⁻³	mg cm ⁻³	mm ² cm ⁻³
0,05-0,15	1,29 a	0,68 a	5,10 a	3,64 a	2,22 a	12,02 a
0,20-0,30	0,75 b	0,42 b	3,24 b	0,89 b	0,45 b	3,04 b
0,35-0,45	0,70 b	0,29 b	2,68 b	0,78 b	0,40 b	2,86 b
CV (%)	59,67	50,82	57,80	63,88	76,65	67,09
DMS	0,485	0,210	1,684	1,001	0,696	3,556

*Valores representam a media de 3 amostras e 5 períodos de uso. Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%).

A maior concentração de raízes nas camadas de 0,05-0,15 m é característica das gramíneas tropicais, com declínio de biomassa, densidade de comprimento e área de raízes em profundidade, como citado por Smith et al. (2005) e Azevedo (2008). De forma similar, este resultado pode ser originado pelo maior teor de nutrientes, que normalmente, se concentram nesta camada em solos cultivados com cana-de-açúcar (CERRI et al., 1991; SILVA; RIBEIRO, 1998; MAIA; RIBEIRO, 2004a).

De outra parte, o maior decréscimo na quantidade de raízes da camada 0,05-0,15 m para 0,20-0,30 e 0,35-0,40 m, pode estar mostrando algum grau de restrição ao crescimento de raízes, justificado pela presença de camadas compactadas nestas profundidades; no entanto, esta restrição é só parcial, pois os valores de densidade de comprimento, densidade de massa seca e área de raízes nestas camadas sub-superficiais, mostram uma importante dinâmica, com aportes de 420 e 290 kg ha⁻¹ de massa seca de raízes nas camadas entre 0,20-0,30 e 0,35-0,45 m, respectivamente, no LVef e de 450 e 400 kg ha⁻¹ nas mesmas profundidades para o LVd, podendo ter influência na regeneração de camadas mais profundas de solo, especialmente nos talhões com maior tempo de uso, como encontrado na descrição morfológica do perfil cultural (Quadros 4.1 e 4.2), coincidindo com os

decréscimos de D_s e acréscimos de macroporosidade em camadas entre 0,20-0,40 m de profundidade (Tabela 4.3).

Com base nos resultados obtidos fica claro que, mesmo encontrando-se valores de RP acima dos relatados pela literatura como restritivos ao desenvolvimento radicular, a presença de estruturas F_{μ} p_t m_t efeito de sulcador e do desenvolvimento radicular, localizadas sob as touceiras, e as estruturas F_{μ} , F_{μ} , L_{μ} , L_{μ} , localizadas na entrelinha, efeito do tríplice cultivo, com porosidade fissural abundante, permitem o desenvolvimento e a distribuição das raízes nestas estruturas, mesmo com valores de RP de 5,25 MPa no LVef e de 6,06 MPa no LVd, assim como de valores de macroporosidade inferiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, nos talhões com maior tempo de uso nos dois solos, corroborando resultados obtidos por Azevedo (2008) em Latossolo Vermelho eutrófico com cana de 3 e 4 cortes e Tavares Filho (2001) em Latossolo Roxo argiloso sob cultura de milho no sistema de plantio direto e convencional.

Os anteriores resultados permitem concluir que, no estudo dos atributos físicos do solo, o uso de ferramentas como o método do perfil cultural, que possibilita a descrição morfologia espacializada das estruturas que conformam o perfil e a localização das limitantes físicas presentes, especialmente quando acompanhadas das análises quantitativas como feitas no presente estudo, podem ajudar na tomada de decisões para o manejo sustentável do solo. Conclusões obtidas a partir de medições feitas em forma localizada, como tradicionalmente feitas, podem conduzir a sobre ou sub-valorar os principais limitantes físicos do solo, podendo levar a decisões erradas, pouco eficientes e com altos custos financeiros e ambientais.

Neste trabalho constatou-se que a cultura da cana-de-açúcar originou mudanças significativas entre os solos de mata nativa e os talhões cultivados nos dois solos avaliados. Foram encontrados incrementos na RP, D_s e microporosidade e decréscimos de macroporosidade, especialmente nos solos cultivados por maior tempo nos primeiros 0,30 m de profundidade; porém, observaram-se camadas sub-superficiais em regeneração estrutural, especialmente nos talhões cultivados com maior tempo. Na avaliação da distribuição radicular, foi encontrado que as raízes cresceram com aparente normalidade na camada superficial, com algum grau de restrição nas camadas compactadas, que não impediram o desenvolvimento radicular em camadas sub-superficiais devido a que o solo, em seu conjunto, apresenta grande heterogeneidade, com presença de estruturas com menores limitações físicas que possibilitam o desenvolvimento das raízes em camadas mais profundas, podendo influir na regeneração estrutural destas e, por conseguinte, sobre outros atributos do solo.

4.5 Conclusões

1. As práticas de manejo na cultura da cana-de-açúcar promovem, nos dois solos avaliados, alterações significativas na RP, Ds, macro e microporos em comparação com a mata nativa;

2. A presença de camadas compactadas com altos valores de RP, Ds e baixos valores de macroporosidade, nos talhões cultivados, não foram impeditivas ao crescimento radicular da cana-de-açúcar, devido à grande heterogeneidade estrutural nos perfis, que possibilitam à presença de raízes em camadas sub-superficiais podendo influir na regeneração estrutural destas;

3. Nos estudos da compactação do solo mais importante do que sua quantificação é sua descrição e classificação, as quais possibilitam melhor compreensão sobre seu efeito no crescimento radicular das plantas;

4. O método do perfil cultural permite uma avaliação morfológica espacializada dos limitantes físicos do solo e quando acompanhado das análises quantitativas, permite definir com maior clareza as medidas culturais a serem realizadas visando o manejo sustentável do solo.

5 ARTIGO C: CARBONO E ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS EM LATOSSOLOS VERMELHOS SOB DIFERENTES PERÍODOS DE CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR

5.1 Resumo

A biomassa microbiana e o carbono do solo são importantes componentes da sua fertilidade, e são influenciados pelo manejo. Para estudar o efeito do tempo de cultivo de cana-de-açúcar sobre alguns componentes do carbono do solo e da biomassa microbiana, foram amostradas áreas em um Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) A moderado muito argiloso sob cultivo de cana-de-açúcar com 1, 3, 8, 10 e 16 cortes e em um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) A moderado textura média sob cultivo de cana-de-açúcar com 1, 2, 3, 6 e 7 cortes, em quatro repetições. Para efeito comparativo, foi amostrada uma área sob vegetação nativa, em cada tipo de solo. Foram avaliados, na camada 0,0-0,10 m, carbono orgânico total (CO), carbono lábil (CL), carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (CBM e NBM), respiração basal, quociente metabólico (qCO_2), quociente microbiano ($qMic$) e as relações $CL/CO*100$ e $CBM/CL*100$. A análise estatística foi realizada considerando um delineamento inteiramente casualizado. Houve diminuição em todos os atributos avaliados com a mudança da vegetação nativa para o cultivo de cana-de-açúcar nos dois solos avaliados. Houve incrementos de CO, CL e qCO_2 com o aumento do tempo de cultivo de cana-de-açúcar nos dois solos e de respiração basal no LVef, indicando um possível novo equilíbrio de atributos relacionados ao ciclo do C. A biomassa microbiana mostrou-se sensível às mudanças de vegetação nativa para cultivo; porém, novos equilíbrios estão em curso nas áreas com mais tempo de cultivo.

Palavras chave: Biomassa microbiana, cana queimada, monocultivo, matéria orgânica.

CARBON AND MICROBIAL ATTRIBUTES IN OXISOLS AT DIFERENT PERIODS OF SUGARCANE CROPPING

Abstract

Microbial biomass and soil carbon are active components of soil fertility and are very sensitive to effects of soil management. In order to assess the effects of different periods of sugarcane cropping, samples of a Rhodic Eutrudox very clayey texture with 1, 3, 8, 10 and 16 slashes, and a Rhodic Hapludox loam texture with 1, 2, 3, 6 and 7 slashes, were taken at 0-10 cm depth, in four replications. For comparisons, samples were also taken under native vegetation from each soil. The assessed attributes were total organic carbon (CO), Labile Carbon (CL), carbon and nitrogen microbial biomasses (BMC and NBM), CO₂ evolution, metabolic quotient (qCO_2), microbial coefficient ($qMic$) and the relationships between $CL/CO*100$ and $CBM/CL*100$. The statistical analysis was performed considering an entirely randomized design. All attributes decreased with change from native vegetation to sugarcane cropping in both soils, with more visible effects in the loam textured soil. Some attributes increased along with the time of sugarcane cropping, suggesting a possible new equilibrium in attributes related to C and N cycling. Microbial biomass was sensitive to changing from native vegetation to sugarcane cropping, but new equilibrium seems to be occurring in areas under longer time of sugarcane cropping.

Keywords: Microbial biomass, cane burning, long-term monoculture, organic matter.

5.2 Introdução

A cana-de-açúcar é, na atualidade, uma das culturas de maior importância no Brasil, com vistas à produção de açúcar e geração de energia alternativa contribuindo para a diminuição da dependência de fontes de energia não renováveis mais poluentes e cada vez menos abundantes como o petróleo. São várias as referências que indicam alterações significativas quando ecossistemas naturais são removidos para o estabelecimento da cultura da cana-de-açúcar (CERRI et al., 1991; HOLT; MEYER, 1998; BLAIR et al., 1998; DOMINY et al., 2002).

A cultura da cana-de-açúcar envolve o uso de máquinas agrícolas em todas as fases do cultivo, do preparo do solo até a colheita, o que, de um lado, contribuiu para a melhoria da produtividade e competitividade desta espécie, mas de outro, gera desequilíbrios químicos (SILVA et al., 1998), físicos (CERRI et al., 1991) e biológicos (HOLT; MEYER, 1998; DOMINY et al., 2002; SUMAN et al., 2006; ROBERTSON; THORBURN 2007a, 2007b) no solo, com efeitos negativos na sustentabilidade destes agroecossistemas. Modificações nos atributos do solo relacionadas às mudanças em sua cobertura inicial dependem do estoque de carbono orgânico (CO) do solo, uma vez que a matéria orgânica (MO) participa na estruturação dos horizontes superficiais, do condicionamento de suas propriedades de troca iônica e ainda se constitui numa importante reserva de nutrientes, tanto para as plantas, quanto para os organismos do solo (CERRI et al., 1991; DOMINY et al., 2002).

Pesquisas desenvolvidas na cultura de cana-de-açúcar em diferentes solos do mundo e sob diferentes condições climáticas mostraram mudanças significativas na biomassa microbiana (HOLT; MEYER, 1998; DOMINY et al., 2002; SUMAN et al., 2006), CO e CL (BLAIR et al., 1998; HOLT; MEYER, 1998; SUMAN et al., 2006; ROBERTSON; THORBURN, 2007a, 2007b; LUCA et al., 2008), respiração basal (HOLT; MEYER, 1998; DOMINY et al., 2002), quociente metabólico (SUMAN et al., 2006) e nitrogênio do solo (ROBERTSON; THORBURN, 2007a, 2007b; LUCA et al., 2008), principalmente em solos cultivados por longos períodos com a cultura. As magnitudes destas mudanças são variáveis e dependentes das características do solo, clima e práticas usadas.

A comunidade microbiana do solo atua intensamente no ciclo do C e do N, respondendo rapidamente às mudanças de clima, tipo de solos e práticas culturais (POWLSON et al., 1987). Práticas como adubações minerais e orgânicas, pesticidas, tempo

de uso do solo, sistemas de colheita, revolvimento do solo, dentre outros, afetam as atividades microbiológicas e bioquímicas do solo. Sendo assim, as propriedades microbianas podem ser utilizadas como bioindicadores da qualidade do solo, permitindo inferir sobre sua capacidade de suportar a comunidade vegetal (NOGUEIRA et al., 2006).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de períodos de cultivo do solo com cana-de-açúcar sobre alguns atributos microbiológicos relacionados ao ciclo do C em Latossolo Vermelho eutrófico e em Latossolo Vermelho distrófico.

5.3 Material e Métodos

5.3.1 Localização

O estudo foi conduzido em duas áreas da Cooperativa de Produtores de Rolândia (COROL), nos municípios de Rolândia (23°15'01"S, 51°28'36"W) e Jaguapitã (23°03'49"S, 51°27'52"W).

Os solos utilizados correspondem a um Latossolo Vermelho eutrófico muito argiloso (LVef) (EMBRAPA, 2006) ou Rhodic Eutrodox pela Soil Taxonomy (ESTADOS UNIDOS, 1975) fase floresta tropical subperenifólia, relevo plano a suave ondulado; e a um Latossolo Vermelho distrófico textura média (LVd) (EMBRAPA, 2006) ou Rhodic Hapludox pela Soil Taxonomy (ESTADOS UNIDOS, 1975), fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado. O clima predominante na região é Cfa, de acordo com classificação de Koeppen, com valores médios anuais de 1650 mm de precipitação, e 27 e 18 °C de temperatura máxima e mínima, respectivamente.

O sistema de produção antes da cana-de-açúcar no LVef era o de rotação milho-soja-trigo, sob plantio convencional e de pastagem no LVd. O preparo da área constou de 1 gradagem com grade pesada com disco de 32 polegadas, 1 subsolagem a 0,50 m de profundidade, 1 gradagem com grade niveladora. A sulcagem foi feita a 0,40 m de profundidade e 1,40 m entre linhas. Após o primeiro corte foi feito, anualmente, o triplice cultivo (subsolagem na entrelinha, adubação e gradagem para eliminação de plantas daninhas) e aplicação de herbicida. No LVef, a partir do 10º corte, não foi realizado o triplice cultivo devido à distribuição da touceira na entrelinha. A colheita da cana-de-açúcar foi realizada

com cana queimada e corte manual. Na Tabela 5.1, encontram-se os teores de argila, densidade do solo e as práticas de adubação realizadas nos dois tipos de solo.

Foram escolhidas cinco áreas (talhões) correspondentes a diferentes períodos de uso contínuo de cana-de-açúcar em cada classe de solo, sendo 16, 10, 8, 3 e 1 cortes para o LVef e de 7, 6, 3, 2 e 1 cortes para o LVd. Estas áreas foram comparadas com uma área testemunha sob mata nativa localizada na proximidade, totalizando seis áreas em cada unidade de solo. Os talhões amostrados ocuparam sempre a mesma posição topográfica no terço médio da pendente.

Tabela 5.1 – Teor de argila, densidade de solo, número de cortes e adubação utilizada nas duas áreas avaliadas.

Solo	Talhão (nº. cortes)	Argila ⁽¹⁾ g kg ⁻¹	Ds ⁽²⁾ g cm ⁻³	Adubação mineral	Adubação orgânica
Latossolo Vermelho eutroférico (LVef)	Mata	730	1,13		
	1	654	1,41		103 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça +torta de filtro 35 t ha ⁻¹
	3	656	1,42		103 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça
	8	762	1,42	250 kg ha ⁻¹ de Super N (46% N) em cobertura e a lanço	103 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça
	10	699	1,42		103 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça
	16	708	1,48		103 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)	Mata	214	1,24		
	1	225	1,49		Não
	2	200	1,49	1,3 t ha ⁻¹ de calcário dolomítico no pré-plantio	Não
	3	237	1,52	500 kg ha ⁻¹ , no sulco de plantio, de 05-25-25 e 413 kg ha ⁻¹ de 25-00-25 na entrelinha na cana soca, por ocasião do tríplice cultivo.	Não
	6	169	1,50		Não
	7	210	1,54		Não

⁽¹⁾ Teores de argila referentes ao horizonte Bw, método da pipeta (Embrapa, 1997). ⁽²⁾ (Ds): densidade do solo avaliada pelo método do anel volumétrico (Embrapa, 1997).

5.3.2 Amostragem

As amostras foram coletadas no mês de abril de 2007, no final da estação úmida. Em cada talhão, foram delimitados, aleatoriamente, quatro transectos de 25×5 m, e, em cada transecto, foram coletadas 15 amostras simples, entre 0,0-0,10 m de profundidade usando um trado cilíndrico de 0,045 m de diâmetro. Essas amostras foram reunidas formando uma amostra composta por transecto, num total de quatro por talhão. O solo foi peneirado (2mm), acondicionado e armazenado a 5 °C até o momento da análise, que foi realizada cinco dias após a amostragem, no Laboratório de Ecologia Microbiana da Universidade Estadual de Londrina.

5.3.3 Análises laboratoriais

5.3.3.1 Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (CBM e NBM)

As biomassas microbianas de C e N foram estimadas pelo método de fumigação-extração (VANCE et al., 1987). Para isto, duas alíquotas de 25 g por amostra foram pesadas e uma delas foi fumigada por 24 h a 25 °C com clorofórmio. Após a incubação, a extração foi feita com K_2SO_4 0,5 mol L⁻¹ por 30 min, seguido de filtração. O carbono orgânico no extrato foi quantificado pela oxidação com $K_2Cr_2O_7$ e titulação do remanescente com sulfato ferroso amoniacal (ANDERSON; INGRAM 1993). O C da biomassa foi calculado com base na diferença entre o C da amostra fumigada e o da amostra não fumigada, utilizando-se um fator $K_C = 0,33$ (Referência VANCE?). Numa alíquota do mesmo extrato, foi feita a quantificação de N após a digestão sulfúrica. O N da biomassa microbiana foi calculado com um fator $K_N = 0,68$ (BROOKES et al., 1985).

5.3.3.2 Respiração basal

A respiração basal foi avaliada em 100 g da amostra, em frasco fechado, contendo um béquer com 20 mL de uma solução de NaOH 0,25 N mol L⁻¹?. O NaOH remanescente foi quantificado por nove dias pela titulação com HCl, na presença do indicador fenolftaleína (ALEF, 1995).

5.3.3.3 Carbono total e lábil

O carbono orgânico total (CO) foi determinado segundo Raij et al. (1987), por oxidação do carbono pelo dicromato de sódio em meio ácido e quantificação por espectrofotometria ($\lambda = 630$ nm). O carbono lábil (CL) foi determinado pelo método descrito por Blair et al. (1995), modificado por Shang e Tiessen (1997), utilizando-se uma solução de 0,033 mol L⁻¹ de permanganato de potássio e quantificação por espectrofotometria ($\lambda = 565$ nm).

Com os dados obtidos foram calculados o quociente metabólico ($qCO_2 = C-CO_2/BMC/h$), o quociente microbiano (CBM/CO*100) e as relações CL/CO*100 e CBM/CL*100.

5.3.4 Análise estatística

Para os talhões cultivados em cada solo, o conjunto dos dados foi submetido à análise de variância e comparação de médias pelo teste Tukey, considerando um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições; adicionalmente foi realizada a análise de correlação linear de Pearson, utilizando o procedimento CORR (SAS INSTITUTE, 1989) em todos os talhões avaliados. Empregou-se, ainda, a análise de componentes principais (ACP) pelo programa ADE4 (THIOULOUSE et al., 1997) para verificar a relação entre as variáveis e os diferentes períodos de cultivo de cana-de-açúcar.

5.4 Resultados e Discussão

5.4.1 Carbono total e carbono lábil

Os teores de CO e CL foram maiores no LVef, quando comparados com do LVd (Tabelas 5.2 e 5.3). As matas nativas, nos dois solos, apresentaram os maiores valores de CO e CL, sendo que os valores de CO na mata foram superiores entre 2,4-3,4 vezes e entre 1,8-2,6 vezes, respectivamente, para o LVef e para o LVd, quando comparado aos talhões cultivados. Por sua vez, o CL na mata nativa foi superior entre 1,9-2,6 vezes e entre 1,7-2,5 vezes, respectivamente, no LVef e no LVd. Observou-se alta correlação entre o CO e CL nos dois tipos de solo, considerando os diferentes períodos de cultivo (0,965** e 0,939** para o LVef e LVd, respectivamente) (Tabela 5.4 e 5.5).

Incrementos de CO decorrentes do tempo de cultivo foram observados no LVef (Tabela 5.2), onde o maior conteúdo de 20,53 g kg⁻¹ encontrado no talhão com 16 cortes, foi estatisticamente superior aos talhões com 1, 3 e 8 cortes. No LVd (Tabela 5.3) houve acréscimo do CO com o tempo de cultivo, a partir do talhão com 2 cortes. Os maiores valores de CO foram observados nos talhões com 1, e 7 cortes (7,74 e 7,62 g kg⁻¹, respectivamente), valores estatisticamente superiores aos obtidos nos talhões com 2 e 3 cortes.

Com relação ao CL, no LVef (Tabela 5.2), o talhão com 10 cortes apresentou o maior valor (8,51 g kg⁻¹), sendo estatisticamente superior aos demais talhões cultivados. No LVd (Tabela 5.3), o maior valor foi observado no talhão com 6 cortes (4,03 g kg⁻¹), sendo estatisticamente superior aos talhões com 2, 3 e 7 cortes.

O CL representou entre 32,26 e 46,42% do CO no LVef, e entre 40,52 e 57,81, no LVd. Não foi observada tendência definida na relação CL/CO nas duas classes de solos para o tempo de cultivo.

Tabela 5.2 – Efeito de diferentes períodos de cultivo de cana-de-açúcar no carbono total (CO), carbono lábil (CL), carbono da biomassa microbiana (CBM), nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), respiração basal, quociente metabólico (qCO_2), CL/CO, CBM/CO e CBM/CL de um Latossolo Vermelho eutrófico (LVef)⁽¹⁾

Cortes	CO	CL	CBM	NBM	Respiração basal	qCO_2	CL/CO	CBM/CO	CBM/CL
	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	μg g ⁻¹	μg g ⁻¹	μg C- CO ₂ g ⁻¹ d ⁻¹	mg C-CO ₂ kg ⁻¹ CBM h ⁻¹	%	%	%
Mata	50,45±4,75*	16,28±0,33	1652,13±99,37	240,31±34,69	221,5 ±11,5	5,59±0,15	32,26±2,70	3,27±0,22	10,14±0,44
1	14,71 D	6,15 B	393,63 A	17,10 A	22,85 D	2,29 B	41,80 A	2,67 AB	6,40 A
3	17,62 B	6,26 B	404,09 A	23,61 A	23,45 CD	2,42 B	35,52 B	2,29 B	6,45 A
8	16,39 C	6,92 B	486,89 A	23,65 A	30,57 BC	3,07 AB	42,22 A	2,97 A	7,03 A
10	18,33 AB	8,51 A	489,71 A	24,88 A	45,50 A	4,14 A	46,42 A	2,67 AB	5,75 A
16	20,53 A	6,73 B	490,28 A	28,19 A	35,37 B	3,02 AB	32,78 B	2,39 AB	7,28 A
C.V.	2,96	6,94	10,95	27,40	10,84	17,36	7,18	10,85	12,83
DMS	1,31	1,04	108,33	14,05	7,47	1,13	6,23	0,61	1,85

⁽¹⁾Letras iguais para cada variável não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%. * Desvio padrão.

Os maiores conteúdos de CO e CL no LVef podem estar relacionados aos maiores teores de argila (> 650 g kg⁻¹) frente a valores entre 160-240 g kg⁻¹ no LVd. Segundo Spain (1990), existe correlação positiva entre o teor de CO do solo e o teor de argila, devido à adsorção das moléculas orgânicas às superfícies minerais da argila, o que favorece a estabilização de CO da oxidação microbiana (LADD et al., 1996). As adições de adubos orgânicos no LVef (Tabela 5.2) podem, também, ter influenciado os maiores valores de CO e CL neste solo.

A mudança de floresta nativa para o cultivo provoca significativos decréscimos no CO e no CL, sendo este efeito similar nos dois solos avaliados, concordando com os resultados obtidos em cana-de-açúcar por Cerri et al. (1991) em Latossolo Vermelho escuro, Silva e Ribeiro (1998) em Latossolo Amarelo argiloso, Blair et al. (1998) em Latossolo Vermelho Amarelo podzólico, Dominy et al. (2002) em Ochric Cambisol e Rhodic Ferralsol. Sobre este aspecto, Dominy et al. (2002) ressaltam que, normalmente, há declínio no estoque de MO após a conversão de florestas nativas para sistemas agrícolas atribuído ao aumento da erosão do solo, aos processos mais acelerados de mineralização da MO e à oxidação de CO do solo, assim como, aos menores aportes de resíduos orgânicos.

Tabela 5.3 – Efeito de diferentes períodos de cultivo de cana-de-açúcar no carbono total (CO), carbono lábil (CL), carbono da biomassa microbiana (CBM), nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), respiração basal, quociente metabólico (qCO_2), CL/CO, CBM/CO e CBM/CL de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd)⁽¹⁾

Cortes	CO	CL	CBM	NBM	Respiração basal	qCO_2	CL/CO	CBM/CO	CBM/CL
	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	μg g ⁻¹	μg g ⁻¹	μg C- CO ₂ g ⁻¹ d ⁻¹	mg C-CO ₂ kg ⁻¹ CBM h ⁻¹	%	%	%
Mata	13,94±0,37*	6,88±0,29	495,3±100,7	62,22±6,17	75,46±6,40	6,51± 1,20	49,35±2,58	3,55±0,66	7,20± 1,68
1	7,74 A	3,50 AB	426,17 A	20,57 B	31,36 A	3,33 B	45,21 B	5,50 A	12,17 A
2	5,35 D	2,68 C	237,24 B	21,45 B	29,28 A	3,68 B	50,09 AB	4,43 AB	8,85 BC
3	6,86 C	2,78 BC	251,21 B	22,38 AB	30,22 A	5,30 A	40,52 B	3,66 B	9,03 B
6	6,97 BC	4,03 A	259,44 B	22,89 AB	31,90 A	4,31 AB	57,81 A	3,72 B	6,43 C
7	7,62 AB	3,11 BC	259,03 B	27,10 A	30,06 A	5,21 A	40,81 B	3,40 B	8,32 BC
C.V.	4,91	11,56	16,31	9,63	7,55	13,29	9,81	13,15	13,45
DMS	0,74	0,81	102,10	4,81	5,04	1,26	10,05	1,19	2,64

⁽¹⁾Letras iguais para cada variável não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%. * Desvio padrão.

Os aportes de resíduos orgânicos nos solos sob cana-de-açúcar são menores que os de floresta nativa ou pastagens, devido, em parte, à prática da queima (BLAIR et al., 1998; DOMINY et al., 2002; SUMAN et al., 2006; ROBERTSON; THORBURN, 2007a, 2007b; LUCA et al., 2008), assim como à extração de biomassa da cultura do local com a retirada dos colmos para a indústria. Segundo Mitchell et al. (2000), no sistema de cana-de-açúcar queimada, mais de 70% do CO contido nos resíduos e alguns nutrientes, são perdidos para a atmosfera. Inversamente, com a manutenção dos resíduos, os nutrientes e o CO podem se acumular no solo. Silva e Ribeiro (1998) e Azevedo (2008) afirmam que os principais aportes de CO no sistema de manejo de cana-de-açúcar queimada são, provavelmente, provenientes das raízes das plantas.

Os acréscimos do CO nas áreas há mais tempo sob cultivo de cana-de-açúcar podem estar indicando novos estados de equilíbrio do carbono orgânico do solo. Sobre este aspecto, cabe destacar que, antes do estabelecimento da cultura de cana-de-açúcar, estes solos se encontravam sob rotação milho-soja-trigo (LVef) e sob pastagem (LVd), situações que favoreceram a redução dos estoques de CO em relação à área sob floresta para valores próximos a 14 g kg⁻¹, para o LVef e 7 g kg⁻¹, para o LVd. Dentre os fatores que podem ter contribuído para esse decréscimo, o revolvimento do solo para o estabelecimento dos cultivos pode ter sido um dos principais responsáveis.

Tabela 5.4 – Coeficientes de correlação de Pearson entre carbono do solo e alguns atributos microbiológicos relacionados ao ciclo do C em LVef plantado com cana-de-açúcar, com diferentes períodos de cultivo.

	CO	CL	CBM	NBM	Respiração basal	qCO_2	CL/CO	CBM/CO
CL	0,965**							
CBM	0,985**	0,975**						
NBM	0,985**	0,963**	0,991**					
Respiração basal	0,986**	0,985**	0,993**	0,989**				
qCO_2	0,815**	0,872**	0,816**	0,798**	0,851**			
CL/CO	-0,538**	-0,314	-0,464*	-0,493*	-0,43*	-0,206		
CBM/CO	0,557**	0,639**	0,680**	0,623**	0,628**	0,505	0,011	
CBM/CL	0,849**	0,759**	0,878**	0,862**	0,832**	0,595*	-0,677**	0,713**

* $P < 0,05\%$. ** $P < 0,01$

Após o estabelecimento da cultura da cana-de-açúcar, o solo não sofre revolvimento na mesma intensidade que nas áreas sob culturas anuais, podendo ter favorecido os acréscimos do CO. Dominy et al. (2002), trabalhando em um Ochric Cambisol e um Rhodic Ferralsol com 180 e 620 g kg⁻¹ de argila, cobertos inicialmente por floresta nativa e pastagens, respectivamente, e submetidos à monocultura com cana-de-açúcar por 30 e mais de 50 anos consecutivos, observaram declínio no CO com o tempo de cultivo. Porém, verificaram que o Ochric Cambisol alcançou um novo equilíbrio de CO, próximo a 18 g kg⁻¹ após 30 anos do estabelecimento da cultura, valor similar ao encontrado nos talhões cultivados com 10 e 16 cortes no LVef. Resultados similares foram obtidos por Silva e Ribeiro (2008), em Latossolo Amarelo argiloso, plantado com cana-de-açúcar por 12 e 25 anos. Segundo Arrouays et al. (1995), a perda de CO do solo sob cultivo é, geralmente, exponencial, sendo esta mais rápida durante os primeiros 10-20 anos, seguida por um novo equilíbrio aos 50-60 anos, mas que pode variar segundo o clima, tipo do solo e manejo empregado.

Os teores mais elevados de CO e CL no solo com cana planta (1 corte) no LVd, devem-se, possivelmente, ao seu uso com pastagem antes da implantação da cultura da cana-de-açúcar. As pastagens contribuem para um aporte maior de CO no solo, em decorrência da abundância de seu sistema radicular, aliada ao não revolvimento do solo (BLAIR et al., 1998; LODGE; KING, 2006).

Tabela 5.5 – Coeficientes de correlação de Pearson entre carbono do solo e alguns atributos microbiológicos relacionados ao ciclo do C em LVD plantado com cana-de-açúcar, com diferentes períodos de cultivo.

	CO	CL	CBM	NBM	Respiração basal	$q\text{CO}_2$	CL/CO	CBM/CO
CL	0,939**							
CBM	0,779**	0,710**						
NBM	0,934**	0,903**	0,640**					
Respiração basal	0,976**	0,939**	0,743**	0,940**				
$q\text{CO}_2$	0,632**	0,577**	0,142	0,673**	0,671**			
CL/CO	0,043	0,379	0,032	0,104	0,107	0,104		
CBM/CO	-0,211	-0,198	0,427*	-0,308	-0,230	-0,352	0,067	
CBM/CL	-0,209	-0,399	0,433*	-0,346	-0,267	-0,291	0,541**	0,791**

* $P < 0,05\%$. ** $P < 0,01$

O CL nos dois solos apresentou pouca variação entre os talhões cultivados com cana-de-açúcar, mostrando um comportamento equilibrado nos diferentes períodos de uso, porém foi mais baixo que o valor encontrado nas florestas. Entretanto, esses valores foram superiores aos encontrados por Blair et al. (1998) em cana-de-açúcar, em Latossolo Vermelho Amarelo argiloso. Lodge e King (2006), trabalhando com pastagens, após quatro anos de implantação, observaram valores de 21,60% de CL em relação ao CO do solo. Segundo Shang e Tiessen (1997), em regiões temperadas, o CL pode representar de 25 a 50% do CO. Comparativamente ao CO, o CL é rapidamente alterado por mudanças no manejo do solo, devido, principalmente, à maior taxa de reciclagem dos constituintes orgânicos. Para Blair et al. (1998), o CL, ou fração ativa da MO do solo, é de particular interesse devido à sua contribuição no suprimento de nutrientes e sua perda pode ser considerada como um indicador importante do declínio da MO do solo, situação que não aconteceu nas áreas cultivadas nos dois solos avaliados.

5.4.2 Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (CBM e NBM)

O carbono da biomassa microbiana (CBM) e o nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) foram sempre superiores na área sob vegetação nativa em relação às áreas agrícolas e apresentaram alta correlação entre si nos talhões avaliados (0,991** e 0,640**

para o LVef e LVd, respectivamente) (Tabela 5.4 e 5.5). Os valores de CBM foram, em geral, mais elevados no LVef, mas, para o NBM, nos talhões cultivados, os valores foram equivalentes nos dois solos (Tabela 5.2 e 5.3).

Os valores de CBM nos solos sob vegetação nativa foram superiores entre 3,3-4,2 vezes e entre 1,16-2,1 vezes, aos valores encontrados nos talhões cultivados no LVef e LVd, respectivamente. Não foram encontradas diferenças significativas para o CBM nas áreas cultivadas no LVef, porém no LVd o maior valor ($426,17 \mu\text{g g}^{-1}$), foi obtido no talhão com 1 corte, sendo estatisticamente superior aos demais talhões cultivados e similar ao encontrado na mata nativa. Esse comportamento foi similar ao observado para o CO.

Os valores de NBM nas matas nativas foram superiores entre 8,5-14,1 vezes e entre 2,3-3,0 vezes aos valores obtidos nas áreas cultivadas no LVef e LVd, respectivamente. Não foi possível observar diferenças significativas para o NBM entre os talhões cultivados no LVef, mas o tempo de cultivo incrementou os valores de NBM no LVd, onde o maior valor de $27,10 \mu\text{g g}^{-1}$ foi obtido no talhão com 7 cortes, sendo estatisticamente superior aos talhões com 1 e 2 cortes.

Os valores de CBM e NBM são semelhantes aos encontrados por vários autores na cultura da cana-de-açúcar sob sistema de queima (HOLT; MEYER, 1998; DOMINY et al., 1998; SKJEMSTAD et al., 1999), com valores mais elevados em solos de textura muito argilosa. Segundo Dominy et al. (2002), a influência do teor de argila na atividade microbiana pode ser variável, e solos com maiores teores de argila tendem a apresentar maior biomassa microbiana. Isto pode ser atribuído a vários mecanismos (LADD et al., 1996), mas o principal parece ser a habilidade da argila em favorecer a matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, a biomassa microbiana. Resultados similares, em cana-de-açúcar foram obtidos por Dominy et al. (2002), indicando que a biomassa microbiana aumenta com o teor de argila. As poucas variações do CBM e NBM entre os talhões cultivados, nas duas classes de solos, mostram certo grau de estabilidade alcançado por estes atributos microbiológicos com o cultivo da cana-de-açúcar, similar ao encontrado por Dominy et al. (2002).

O declínio do CBM com a diminuição do CO na mudança de floresta nativa para a cultura é esperado dada sua alta correlação ($0,985^{**}$ e $0,779^{**}$ para o LVef e LVd, respectivamente) (Tabela 5.4 e 5.5). Este fato também tem sido observado por outros pesquisadores, tais como Holt e Meyer (1998), Dominy et al. (1998) e Suman et al. (2006), na cultura da cana-de-açúcar, resultado da diminuição de substrato orgânico para dar suporte à comunidade microbiana heterotrófica. O CBM, sendo parte do CL, atua diretamente no ciclo

do C, podendo responder mais rapidamente às mudanças nos padrões de entrada ou níveis de decomposição da MO do que o CO (POWLSON et al., 1987). Esse fato pode explicar os valores semelhantes de CBM entre mata nativa e o talhão de cana de 1 corte no LVd, possivelmente, pelo seu recente passado sob pastagens (BLAIR et al., 1998; DOMINY et al., 2002).

Entre os fatores responsáveis por condições mais favoráveis à biomassa microbiana nas áreas sob vegetação nativa, destacam-se a ausência de preparo do solo e a maior diversidade florística, o que representa maior diversidade e aporte de material orgânico para a comunidade microbiana (BANDICK; DICK, 1999). O acúmulo da serrapilheira na superfície do solo propicia menor variação de temperatura e umidade, favorecendo a comunidade microbiana. O não revolvimento do solo também resulta em maior presença de raízes, as quais aumentam a entrada de substratos orgânicos no sistema, via exsudatos radiculares (BOPALAH; SHETTI, 1991).

Declínio imediato de 95% na comunidade de fungos e de 70% na comunidade bacteriana pela queima de resíduos de cereais foram reportados por Biederbeck et al. (1980). Por sua vez, Blair et al. (1998), Dominy et al. (2002) e Robertson e Thorburn (2007a, 2007b) assinalam que a queima anual da palha da cana-de-açúcar e outros resíduos, reduzem não somente o CO, mas também a atividade microbiana. Diminuições significativas da biomassa microbiana relacionada com decréscimos de CO em solos cultivados com cana-de-açúcar por longo período sob monocultura, são reportadas por Holt e Mayer (1998).

Dominy et al. (2002) encontraram valores de CBM próximos de 1100 mg kg^{-1} em mata nativa e pastagens; mas, após 20-30 anos de cultivo contínuo de cana-de-açúcar, estes valores reduziram-se para 490 mg kg^{-1} em um Rhodic Ferrasol e para 290 mg kg^{-1} em um Ochric Cambisol. Os autores encontraram que o CBM apresentou mudanças mais rápidas e foi afetada de forma mais acentuada que o CO. Nesse trabalho foi possível corroborar observações anteriores de que a conversão de solo florestal para cultivado também causa grande redução na biomassa microbiana, e que a biomassa microbiana é geralmente menor nos solos arenosos sob mesmo tipo de vegetação, seja ela nativa ou a cultura da cana-de-açúcar.

5.4.3 Respiração basal e quociente metabólico

Os maiores valores de respiração basal, nas duas classes de solos, foram encontrados nas amostras de solos sob vegetação nativa, sendo superiores entre 4,8-9,7 e 2,3-2,6 vezes aos encontrados nos talhões cultivados no LVef e LVd, respectivamente (Tabela 5.2 e 5.3).

No LVef (Tabela 5.2), houve acréscimos na respiração basal com o tempo de cultivo de cana-de-açúcar, onde o talhão com 10 cortes apresentou valores estatisticamente superiores aos demais talhões, seguido pelos talhões com 16 e 8 cortes. No LVd, não foram encontradas diferenças significativas entre os talhões cultivados.

Houve relação direta entre o CBM e a respiração basal (0,993** e 0,743** para o LVef e LVd, respectivamente) (Tabela 5.4 e 5.5), com destaque para a mata nativa em comparação com os solos cultivados. Isso é atribuível à maior atividade biológica que, por sua vez, está relacionada diretamente com o CO e a biomassa microbiana (FOLLET; SCHIMEL, 1989). Resultados semelhantes foram encontrados na cultura da cana-de-açúcar por Dominy et al. (1998) e Suman et al. (2006) e em outras culturas por Insam et al. (1991) e Nogueira et al. (2006), indicando que mudanças no solo causadas pela cobertura, preparo do solo, manejo, clima, tratos culturais, entre outros, afetam diretamente a respiração basal, situação que propicia ampla variação nos valores deste indicador.

Correlações positivas entre CO e respiração basal ($r=0,82$) na cultura da cana-de-açúcar foram encontradas por Dominy et al. (2002) em Ochric Cambisol e Rhodic Ferralsol. Por sua vez, Holt e Mayer (1998), trabalhando em cana-de-açúcar em 7 solos diferentes, mostraram uma diminuição significativa da respiração basal, principalmente em solos cultivados por maior período de tempo, o que foi atribuído à diminuição do CO e da biomassa microbiana do solo.

Em outras culturas, Insam et al. (1991), analisando amostras de solos sob monocultura por até 77 anos, observaram que a respiração basal variou de 8,40 a 33,60 $\mu\text{g g}^{-1}$ dia⁻¹ de C-CO₂ no solo. Nogueira et al. (2006), avaliando diferentes coberturas vegetais e usos do solo, encontraram valores entre 1,7 e 4,2 $\mu\text{g g}^{-1}$ dia⁻¹ de C-CO₂, indicando altas variações entre diferentes ecossistemas.

Os maiores valores de $q\text{CO}_2$ foram obtidos nas duas áreas de mata nativa, sendo superiores entre 1,3-2,4 vezes e entre 1,2-1,9 vezes aos encontrados nas áreas cultivadas, no LVef e LVd, respectivamente (Tabela 5.2 e 5.3). Foram observadas correlações

de 0,815** e 0,872** entre $q\text{CO}_2$ com CO e CL no LVef e de 0,632** e 0,577** no LVd, respectivamente, para os diferentes períodos de cultivo (Tabela 5.4 e 5.5).

Nas áreas cultivadas no LVef, os maiores valores de $q\text{CO}_2$ (4,14 mg C- CO_2 kg⁻¹ CBM h⁻¹) foram obtidos no talhão com 10 cortes, sendo estatisticamente superior aos valores obtidos nos talhões com 1 e 3 cortes (Tabela 5.2). Para o LVd, os maiores valores de $q\text{CO}_2$ foram encontradas nos talhões com 3 e 6 cortes, sendo estatisticamente superiores aos obtidos nos talhões com 1 e 2 cortes (Tabela 5.3)

Altos valores de $q\text{CO}_2$ podem indicar condições de estresse da comunidade microbiana (ANDERSON; DOMSCH, 1993) ou degradação de solos (DOMINY et al., 2002; HARRIS, 2003), como por exemplo, compactação expressa por maiores densidades do solo nas áreas cultivadas (Tabela 5.1), oriundas do intenso tráfego de máquinas e implementos; mas, também, podem indicar a presença de carbono de fácil degradação, o que favorece o estabelecimento de microrganismos de rápido crescimento às custas dessa fonte de C disponível (INSAM; DOMSCH, 1988), resultando em maior quantidade de CO_2 liberada por unidade de biomassa microbiana. Insam e Domsch (1988) sugerem que o $q\text{CO}_2$ tende a ser elevado nos solos jovens e em solos recentemente perturbados, e mais baixo em pastagens nativas e florestas (sistemas mais estáveis), porque, quando o solo se encontra próximo a uma condição de equilíbrio, a comunidade microbiana se torna mais eficiente em utilizar as formas de carbono para a obtenção de energia.

Nogueira et al (2006), avaliando indicadores biológicos em sistemas agrícolas e florestais, não encontraram diferenças no $q\text{CO}_2$ entre os diferentes sistemas avaliados, com valores entre 24 a 57 (g C- CO_2 μg⁻¹ CBM h⁻¹). Resultados similares foram encontrados por Suman et al. (2006), avaliando diferentes culturas intercaladas com cana-de-açúcar em um Udic Ustochrept na Índia.

5.4.4 Relação do carbono da biomassa microbiana com carbono total e lábil

Os valores da relação CBM/CO ou quociente microbiano e CBM/CL apresentaram maiores valores nos talhões cultivados no LVd quando comparados com os valores observados no LVef (Tabela 5.2). O maior valor de quociente microbiano no LVef (2,97%), foi superior estatisticamente somente no talhão com 3 cortes. No LVd o maior

quociente microbiano foi observado no talhão com um corte, sendo estatisticamente superior aos demais talhões cultivados (Tabela 5.3).

Para a relação CBM/CL no LVef (Tabela 5.2), observa-se que a mata nativa atingiu o maior valor (10,14%) e o tempo de cultivo não influenciou nessa relação. Para o LVd, o maior valor (12,17%) foi obtido com a cana de 1 corte, sendo estatisticamente superior a todos os demais talhões cultivados.

Os maiores valores nas relações CBM/CO e CBM/CL nos talhões cultivados no LVd, resultam, provavelmente, do maior aporte de material orgânico de raízes nos primeiros 0,15 m de profundidade (2,22 mg cm⁻³ no LVef e 0,68 mg cm⁻³ no LVd). Este resultado corrobora a maior sensibilidade do CBM como bioindicador da qualidade do solo, quando comparado com o CO e CL, já apontada por Powlson et al. (1987) e Nogueira et al. (2006).

Os valores para a relação CBM/CO são similares aos obtidos por McGill et al. (1986). Anderson e Domsch (1989) encontraram valores de 2,3% para monoculturas, e citam 2,2% como sendo o nível no qual estaria ocorrendo equilíbrio em parcelas cultivadas. Entretanto, para McGill et al. (1986), essas relações estariam entre 2,5 e 3,3%, para áreas com rotação de culturas permanentes. Suman et al. (2006), em cana-de-açúcar e cultivos intercalados, encontraram que a BMS representou 2,7 a 3,3% do CO do solo. Com base no apresentado, os valores obtidos para a relação CBM/CO nas duas classes de solo encontram-se dentro dos níveis considerados de equilíbrio.

Por outro lado, Lodge e King (2006), em pastagens após quatro anos de implantação, encontraram que o CBM foi 10,35% do CL, sem diferença entre solo nativo e pastagens nativas, corroborando os maiores valores desta relação (CBM/CL) no solo com um corte de cana no LVd, devido a seu recente passado de cultivo com pastagens.

A relação CBM/CO pode variar de 0,27 a 7,0%, em razão de que a atividade e a diversidade dos microrganismos no solo dependem de uma série de fatores, tais como: umidade, temperatura e manejo de resíduos, entre outros, sendo que esta fração do CO pode ser utilizada como índice de aferição da sustentabilidade do sistema (ANDERSON; DOMSCH, 1989). Insam e Domsh (1988) descrevem a relação CBM/CO como importante indicativo de alteração dos ecossistemas, uma vez que, sob condições de estresse, ocorre uma diminuição na capacidade da biomassa microbiana em utilizar eficientemente o CO como fonte de C e energia.

As mudanças na relação CBM/CO refletem o padrão de entrada da MO nestes solos, a eficiência da conversão do C microbiano, as perdas do C do solo e a

estabilização do C orgânico pela fração mineral do solo (SPARLING, 1992). O nível da relação CBM/CO pode indicar se o carbono está em equilíbrio, se está acumulando ou diminuindo (ANDERSON; DOMSCH, 1989). Em geral, neste trabalho, comparando-se entre as áreas cultivadas, pôde-se verificar que o aumento do tempo de cultivo sob cana-de-açúcar não aumentou as perdas de carbono, nem diminuiu os atributos microbiológicos estudados, o que sugere que o sistema está próximo de um equilíbrio, que indicam a manutenção ou mesmo o incremento do C, nos dois solos avaliados.

5.4.5 Análise conjunta de dados

A análise conjunta de dados por meio da análise de componentes principais (ACP) para o LVef, permitiu observar que o solo da mata nativa apresentou características discrepantes dos solos cultivados com cana-de-açúcar, nos diferentes períodos de cultivo (Figura 5.1). O eixo 1 da componente principal, explica 79,96% da variabilidade, e o único atributo que não contribui para separar a área de mata das demais áreas no plano fatorial é a relação CL/CO. A análise de agrupamento por similaridade indicou que as áreas plantadas com cana-de-açúcar formaram dois grupos, onde os talhões com 3 e 16 cortes formaram um grupo, enquanto que os talhões com 10 e 8 cortes, e em menor proporção a cana de 1 corte, formaram outro grupo (Figura 5.3a), relacionada mais com a relação CL/CO.

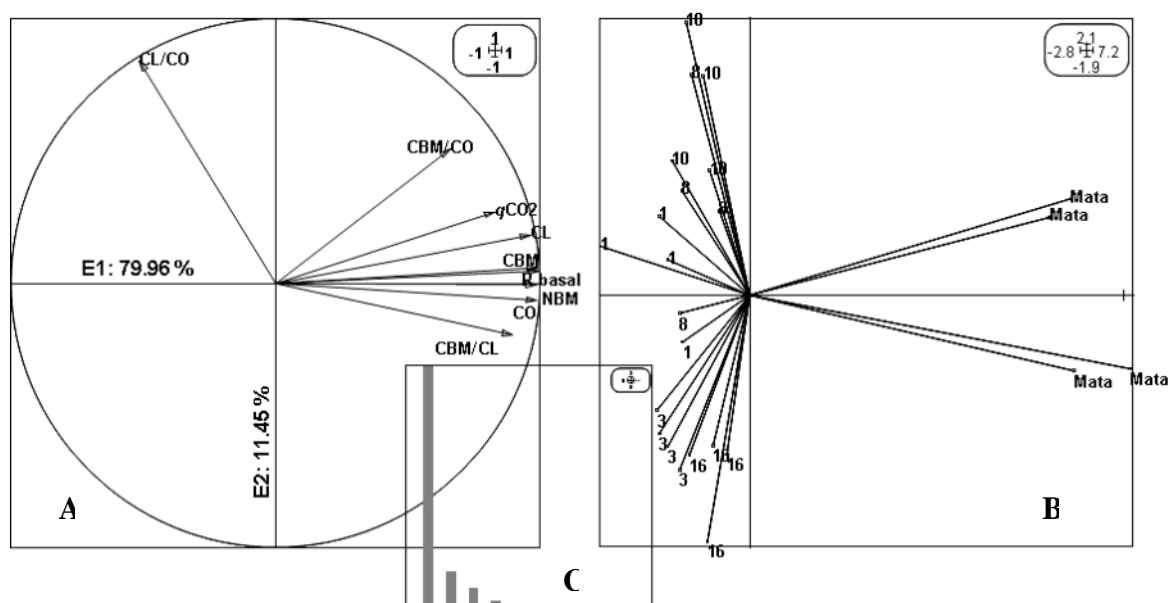


Figura 5.1 – Análise dos componentes principais (ACP) baseada em alguns atributos microbiológicos relacionados ao carbono em LVEf cultivado com cana-de-açúcar por vários períodos. (A) Círculo das correlações entre as variáveis; (B) Ordenação das localidades no plano fatorial; (C) Diagrama dos valores próprios.

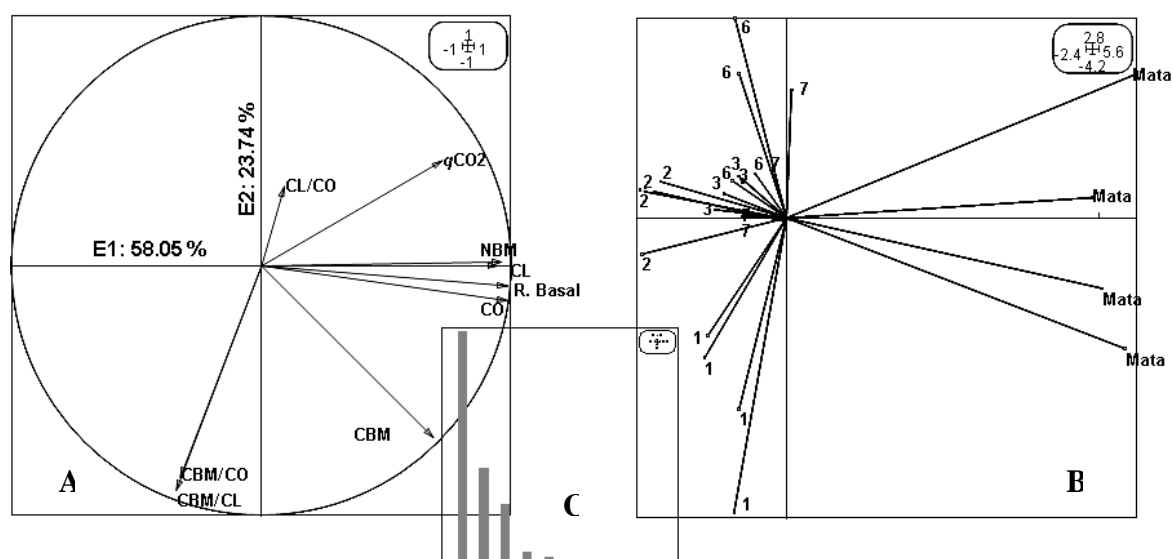


Figura 5.2 – Análise dos componentes principais (ACP) baseada em alguns atributos microbiológicos relacionados ao carbono em LVD cultivado com cana-de-açúcar por vários períodos. (A) Círculo das correlações entre as variáveis; (B) Ordenação das localidades no plano fatorial; (C) diagrama dos valores próprios.

De forma semelhante, para o LVd, a ACP permitiu observar que o solo da mata nativa também apresentou características diferentes das apresentadas sob cana-de-açúcar nos diferentes períodos de cultivo (Figura 5.2). No eixo 1 da componente principal, que explica o 58% da variabilidade, os atributos que mais se relacionaram com o solo da mata nativa foram NBM, respiração basal, CO, qCO_2 , CBM, CL/CO e, em menor proporção, CBM/CO e CBM/CL, que, por sua vez, apresentaram maior relação com o talhão de 1 corte. A análise de agrupamento por similaridade indicou que nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar são formados dois grupos principais, em que os talhões cultivados com 7, 6, 3 e 2 cortes apresentam mais similaridade entre si formando um grupo, enquanto que o talhão com 1 corte se mantém em um único grupo isolado mais próximo da mata nativa (Figura 5.3b).

Os resultados obtidos permitiram observar que a mudança da floresta nativa para a cultura da cana-de-açúcar provoca significativos decréscimos no CO e nos demais atributos estudados, nos dois solos, devidos à aceleração dos processos de mineralização da MO do solo, assim como aos menores aportes de resíduos orgânicos em função da queima da palhada.

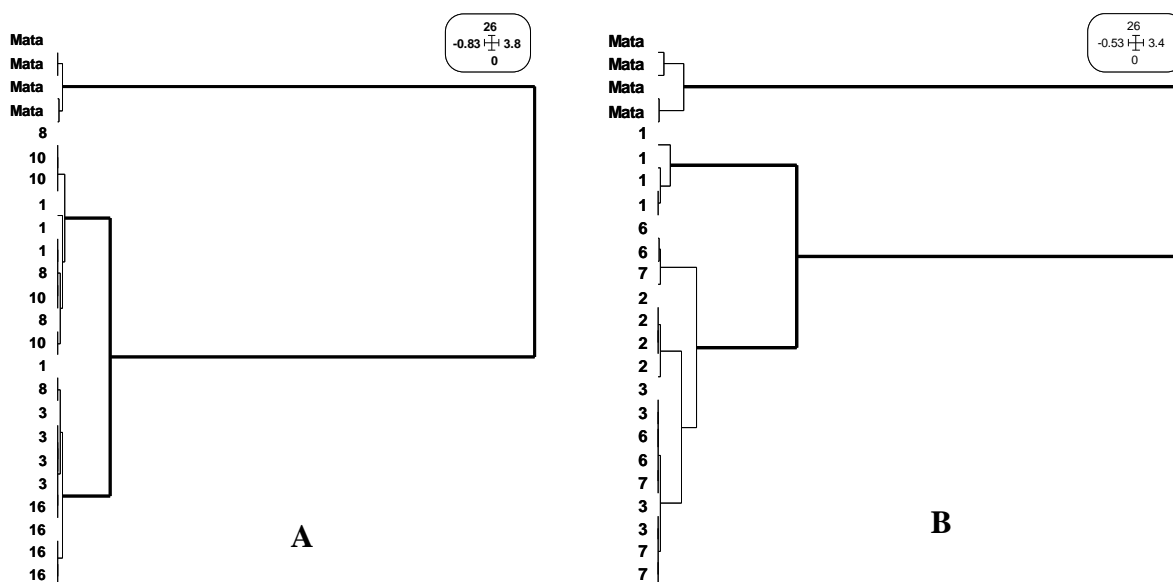


Figura 5.3 – Análises de agrupamento por similaridade construído com base nos dados obtidos sobre o efeito de diferentes tempos de uso de solo cultivado com cana-de-açúcar em alguns atributos microbiológicos relacionados ao carbono do solo. (A) Dados referentes ao Latossolo Vermelho eutrófico (LVef). (B) Dados referentes ao Latossolo Vermelho distrófico (LVd).

Os resultados demonstram que os atributos microbiológicos foram sensíveis ao tempo de uso do solo com a cultura de cana-de-açúcar, indicando maiores alterações nos

primeiros anos de cultivo. Com o passar dos anos, houve tendência de aumento dos valores, o que pode ser atribuído ao aumento do CO e a um possível novo equilíbrio de seus teores no solo.

5.5 Conclusões

1. A mudança da floresta nativa para a cultura da cana-de-açúcar provoca decréscimos dos atributos microbiológicos relacionados com o carbono do solo, tais como carbono orgânico (CO), carbono lábil (CL), carbono da biomassa microbiana (CBM), nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), e respiração basal.

2. Os atributos microbiológicos associados ao C do solo são maiores no Latossolo Vermelho eutroférico, devido em grande parte aos maiores teores de argila, a sua maior fertilidade, assim como à adubação orgânica.

3. Houve incrementos de CO, CL, e qCO_2 com o aumento do tempo de cultivo nos dois solos e de respiração basal no LVef.

4. O carbono orgânico e os atributos microbiológicos foram sensíveis à mudança de floresta para a cultura de cana-de-açúcar, observando-se, de modo geral, acréscimos nos seus teores decorrentes do tempo de cultivo, mostrando um possível novo equilíbrio do carbono orgânico.

6 CONCLUSÕES GERAIS

1. Os resultados obtidos permitiram verificar mudanças na conversão de vegetação nativa para a cultura de cana-de-açúcar com relação à morfologia, atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo.

2. De forma geral, com o decorrer do tempo de cultivo, foram observados decréscimos da fertilidade nos solos eutroféricos e acréscimos desta nos distróficos.

3. Tanto no LVef como no LVd, foram encontrados incrementos na resistência do solo à penetração, na densidade do solo e na microporosidade e decréscimos da macroporosidade, na camada de 0,30 m de profundidade. Contudo, estes efeitos não impediram o crescimento das raízes da cana-de-açúcar em camadas sub-superficiais, devido à grande heterogeneidade estrutural do solo que possibilita o desenvolvimento das raízes, podendo influir na sua regeneração estrutural.

4. A aplicação do método do perfil cultural, no estudo das mudanças nos atributos físicos do solo, associada a medições quantitativas, possibilitou uma melhor compreensão dos efeitos da compactação do solo sobre o crescimento das raízes da cana-de-açúcar.

5. A mudança de floresta nativa para exploração da área com a cultura da cana-de-açúcar promoveu, nos dois solos, significativos decréscimos no conteúdo de carbono orgânico do solo e nos demais atributos microbiológicos estudados.

6. O carbono orgânico e os atributos microbiológicos foram sensíveis à mudança de floresta para a cultura de cana-de-açúcar, observando-se acréscimos nos seus teores decorrentes do tempo de cultivo mostrando um possível novo equilíbrio deste, nos dois solos avaliados.

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, W.A. Edited by Walters Jr., C. **The Albrecht Papers** – Volume I – Foundation Concepts, Acres U.S.A. Third printing, 1996, p.515.
- ALEF, K. Soil respiration. In: ALEF, K. e NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. p.214-219.
- ALVAREZ, I. A., CASTRO, P. R. C., NOGUEIRA, M. C. S. Crescimento de raízes de cana crua e queimada em dois ciclos. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.4, p.653-659, 2000.
- ANDERSON, J.M., INGRAM, J.S.I. eds. Tropical Soil Biology. **A Handbook of Methods**. Londres, CAB International, 1993. p.41-43.
- ANDERSON, T.H., DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.21, p.471-479, 1989.
- ANDERSON, T.H., DOMSCH, K.H. Application of ecophysiological quotients (q_{CO_2} and q_D) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, Cambridge, v.22, p.251–255, 1990.
- ANDERSON, T.H., DOMSCH, K.H. The metabolic quotient form CO_2 (q_{CO_2}) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, p.393-395, 1993.
- ANDRADE, D.S., COLOZZI-FILHO, A., PAVAN, M.A., BALOTA, E.L., CHAVES, J.C.D. Atividade microbiana em função da calagem em um solo cultivado com cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.191-196, 1995.
- ARAÚJO, M.A., TORMENA, C.A., SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata. et al., **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.337-345, 2004.
- ARROUAYS, D., BALESSENT, J., MARIOTTI, A., GIRARDIN, C. Modelling organic carbon turnover in cleared temperate forest soils converted to maize cropping by using C^{13} natural abundance. **Plant and Soil**. v.173, p.191-6, 1995.
- ASAE. 1986. **Standards**, 32nd ed. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI. (S313.2).

AVILAN R., L.R. Estudio del sistema radicular de la caña de azucar variedad V58-4 en un Mollisol del estado Portuguesa. **Agronomia Tropical**, v.28, n.2, p.163-174, 1978.

AVILAN, L. R., GRANADOS F. M., ORTEGA, D. Estudio del Sistema Radicular de Tres Variedades de Caña de Azúcar (*Saccharum* spp.) en un Mollisol de los Valles de Aragua. **Agronomia Tropical**, v. 27, n. 1, p. 69-87, 1977.

AZEVEDO, M. C. B. **Efeito de três sistemas de manejo físico do solo no enraizamento e na produção de cana-de-açúcar**. 2008. 102p. Tese (Doutorado em agronomia).- Universidade Estadual de Londrina-UEL. Londrina. PR.

BACCHI, O. O. S. **Ecofisiologia da cana-de-açúcar**. Piracicaba: IAA/Planalsucar, 1985. 20p.

BALL-COELHO, B.; SAMPAIO, E.V.S.B; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. Root dynamics in plant and ratoon crops of sugar cane. **Plant and Soil**, v. 142, p. 297-305, 1992.

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S. HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.641-649, 1998.

BANDICK, A. K., DICK, R.P. Field management effects on soil enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry**, v.31, p.1471-1479, 1999.

BARBIERI, J.L.; ALLEONI, L.R.F.; DONZELLI, J.L. Avaliação agronômica e econômica de sistemas de preparo e solo para cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.1, p.89-98, 1997.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Física de suelos**. UTEHA, México, 1973. 529p.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996 240 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BAYER, C., MARTIN-NETO, L., MIELNICZUK, J., CERETTA, C.A. Effect of no-tillage cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil and Tillage Research**, v.53, p.95-104. 2000.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PILLON, C.N.; SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.1473-1478, 2001.

BEUTLER, A.M.; CENTURION J.F. Resistência à penetração em latossolos: valor limitante à produtividade de arroz de sequeiro. **Ciência Rural**, v.34, n.6, p.1793-1800, 2004a.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.6, p.581-8, 2004b.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P.; BARBOSA, J.C. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.639-45, 2006.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P. comparação de penetrômetros na avaliação da compactação de Latossolos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.146-151. 2007.

BIEDERBECK, V. O.; CAMPBELL, C. A.; BOWREN, K. E.; SCHNITZER, M.; MCIVER, R. N. Effect of burning cereal straw on soil properties and grain yields in Saskatchewan. *Soil Science Society of America Journal* 44, 103-111. biomass that develops. **Soil Biology and Biochemistry**, v.22, p.685-694, 1980.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C.A., FIDALSKI, J., GUIMARÃES, R.M.L. quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.975-983, 2008.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions, based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.46, p.1459-1466, 1995.

BLAIR, J.G.; CHAPMAN, L.; WHITBREAD A.M.; COELHO, B.B.; LARSEN, P.; TIESSEN, H. Soil carbon changes resulting from sugarcane trash management at two locations in Queensland, Australia, and in north-east Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, v.36, n.6, p.873-882, 1998.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Springer-Verlag, New York, 1979. 188p.

BOPAIAH, B.M.; SHETTI, H.S. Soil microflora and biological activities in the rhizospheres and root regions of coconutbased multistoreyed cropping and coconut monocropping systems. **Soil Biology and Biochemistry**, v.1, p.7:297-302, 1991.

BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; REINERT, D.J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.**, v.30, p.605-614, 2006.

BRITO, L. F. L.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R.; MARQUES JUNIOR, J.; CAZETTA, D.; CALZAVARA, S. A.; OLIVEIRA, L. Influência de formas do relevo em atributos físicos de um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.6, p.1746-1755, 2006.

BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.17, p.837-84, 1985.

BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S.; JENKINSON, D.S. Phosphorus in the soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v.16, p.169-175, 1984.

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

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; DIAS, F.L.F.; CASAGRANDE, A.A.; SILVA, A. R.. MUTTON, M.A.; CENTURION, J.F. Efeito prolongado de sistemas de preparo do solo com e sem cultivo de soqueira de cana crua em algumas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal,SP, v.25, n.1, p.189-198, 2005.

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

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.99-105, 1990.

CASAGRANDE, A.A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157 p.

CEDDIA, M.B.; ANGOS, L.H.C.; LIMA, E.; RAVELLI NETO, A.; SILVA, L.A. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo no Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.8, p.1467-1473, 1999.

CENTURION, J.F., CARDOSO J.P., NATALE, W. 2001. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.2, p.254-258, 2001.

CENTURION, J.F.; FREDDI, O.da S.; ARATANI, R. G.; METZNER, A. F. M.; BEUTLER, A. N.; ANDRIOLI, I. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos Vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.199-209, 2007.

CERQUEIRA LUZ, P. H. **Efeitos de sistemas de colheita e formas de cultivo de soqueira sobre a produção e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1989. 135 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Piracicaba de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

CERRI, C. C.; FELLER, C.; CHAUVEL, A. Evolução das principais propriedades de um Latossolo Vermelho escuro após desmatamento e cultivo por doze e cinquenta anos com cana-de-açúcar. **Cahiers Orstom, série Pédologie, Bondy**, v.26, n.1, p.37-50, 1991.

CERRI, C.C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo no agrossistema cana-de-açúcar**. 1986. 197 p. Tese de Livre-Docência. Piracicaba: USP-ESALQ.

COSTA, M.C.G. **Distribuição e crescimento radicular em soqueiras de cana-de-açúcar: dois cultivares em solos com características distintas**. 2005, 88p. Tese (Doutorado).- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

COSTA, M.C.G. MAZZA, J. A, VITTI, G.C.; JORGE, L.A.C. Distribuição radicular, estado nutricional e produção de colmos e de açúcar em soqueiras de dois cultivares de cana-de-açúcar em solos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, P. 1503-1514, 2007.

DALBÓ, M. A.; RIBEIRO, A. C.; COSTA, L. M.; THIÉBAUT, J. T. L.; NOVAIS, R. F. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio em colunas de solos cultivadas com cana-de-açúcar- II Respostas da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.231-234, Campinas /SP – 1986.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. C, N e P na biomassa microbiana do solo. In: G A Santos; F A O Camargo. (Org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. 1 ed. Porto Alegre: Ed. Genesis: Genesis, v.1, p.389-411, 1999.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2a ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. CNPS, ed. Rio de Janeiro, 1997, 212 p.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. **Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys**. Washington, 1975. 754 p (USDA Agriculture Handbook, 436).

FARONI, C. E. Sistema radicular de cana-de-açúcar e identificação de raízes metabolicamente ativas. 2004. 68p. **Dissertação (Mestrado)** – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

FARONI, C. E.; TRIVELIN, P. C. O. Quantificação de raízes metabolicamente ativas de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.6, p.1007-1013, 2006.

FERNANDES, J. Observações sobre o sistema radicular da cana-de-açúcar. **Álcool & Açúcar**, v.5, n.23, p.51-52, 1985.

FERNANDES, J.; RIPOLI, T.C.; MILLAN, M. A compactação do solo e a brotação das soqueiras. **Álcool & Açúcar**, v.3, n.12, p.12-17, 1983.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais**. São Carlos: UFSCAR, 2000. p.255-258.

FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B., CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.515-524, 1999.

FOLLET, R.F.; SCHIMEL, D.S. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, v.53, p.1091- 1096, 1989.

FREGONESI, G. A. F.; BROSSARD, M.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C. Modificações morfológicas e físicas de um latossolo argiloso sob pastagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.1017-1027, 2001.

GAUTRONNEAU, Y.; MANICHON, H. **Guide méthodique do profil cultural**. Lyon, CEREF-GEARA, 71 p., 1987.

GOMES, A. da S.; PEÑA, Y.A. Caracterização da compactação através do uso do penetrômetro. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.49, n.426, p.18-20, 1996.

GUIMARÃES, M. F.; BALBINO, L. C.; MEDINA, C. C.; RIBEIRO, A. M. A.; RALISCH, R.; TAVARES FILHO, J. A metodologia do perfil cultural e o enraizamento. In: **MESA REDONDA: MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE DEGRADAÇÃO E/OU RECUPERAÇÃO DE SOLOS** – XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Rio de Janeiro, 1997. 25 p.

HELALIA, A. M.; LETEY, J.; GRAHAM, R. C. Crust formation and clay migration effects on infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, n.1, p.251-255, 1988.

HENIN, S.; FEODOROFF, A.; GRAS, R.; MONNIER, G. **Le profil cultural: Principes de physique du sol**. Paris, Masson, 320 p., 1960.

HENROT, J; ROBERTSON, G.P. Vegetation removal in two soils of the humid tropics: Effect on microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v.26 n.1, p 111-116. 1994.

HOLT, J. A.; MAYER, R. J. Changes in microbial biomass and protease activities of soil associated with long-term sugar cane monoculture. **Biology and Fertility of Soils**, v.27 p.127–131, 1998.

HUMBERT, R.P. **El cultivo de la caña de azucar**. México: Continental, 1974. 719 p.

HUNGRIA, M.; ANDRADE, D.S.; COLOZZI FILHO, A.; BALOTA, E.L.; SANTOS, J.C. Ecologia microbiana em solos sob cultivo na região sul do Brasil. In: HUNGRIA, M.; BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S., (eds). **Microbiologia do solo: Desafios para o século XXI**. Londrina, IAPAR/EMBRAPA-CNPSO, 1995. p.234-270.

IAIA, A. M.; MAIA, J. C. S.; KIM, M. E. Uso do penetrômetro eletrônico na avaliação da resistência do solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.523-530, 2006.

INGRAM, K. T.; LEERS, G. A. Software for measuring root characters from digital images. **Agronomy Journal**, Madison, v.93, p.918-922, 2001.

INSAM, H. Are the soil microbial biomass and basal respiration governed by the climatic regime? **Soil Biology and Biochemistry**. v.22, p.525-532, 1990.

INSAM, H.; DOMSCH, K.H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, v.15, p.177-188, 1988.

INSAM, H.; MITCHELL, C.C.; DORMAAR, J.F. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of three ultisols. **Soil Biology and Biochemistry**, v.23, p.459-464, 1991.

IVO, W. M. Distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar em solo de Tabuleiro Costeiro. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS. Aracaju, 1999. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, p101-114, 1999.

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

JORGE, L. A. C.; RALISCH, R.; ABI SAAB, O. J. G.; MEDINA, C. C.; GUIMARÃES, M. F.; NEVES, C. S. V. J.; CINTRA, F. L. D.; BASSOI, L. H.; FERNANDES, S. B. V. Recomendações práticas para análise de imagens digitais através do SIARCS[®]. São Carlos: EMBRAPA Instrumentação Agropecuária (**Circular Técnica**), 1996. CD Rom.

KERTZMAN, F.F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um Latossolo Roxo provocadas pela compactação**. 1996. 132p. (Tese de Doutorado). São Paulo, Universidade de São Paulo.

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

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.4, p.857-67, 2002.

KÖPKE, V. Methods for studying root growth. In: SYMPOSIUM ON THE SOIL/ROOT SYSTEM, Londrina, 1980. **Proceedings** Londrina: Fundação Instituto Agronômico do Paraná, 1981. p.303-318.

LADD, J.N.; FOSTER, R.C.; NANNIPIERI, P.; OADES, J.M. Soil structure and biological activity. In: STOTZKY G, BOLLAG JM (eds). **Soil Biochemistry**. Dekker, New York, v 9, p,23–78, 1996.

LADD, J.N.; AMATO, M.; OADES, J.M. Decomposition of plant material in Australian soils. III. Residual organic and microbial biomass C and N from isotope-labelled legume material and soil organic matter, decomposing under field conditions. **Australian Journal of Soil Research**, v.23, p.603-611, 1985.

LODGE G. M.; KING K. L. Soil microbial biomass, labile and total carbon levels of razed sown and native pastures in northern New South Wales. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.57, n.8, p.837–845. 2006.

LORA, S.R. Factores que afectan la disponibilidad de nutrientes para las plantas. In: **Principios básicos sobre nutrición vegetal y fertilidad de suelos**. SCCS, ed Guadalupe, Santa Fé de Bogotá. 524 p. 1994.

LUCA, E.F.; FELLER, C.; CERRI, C.C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D.C.; MANEQUINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com e sem queima de canavial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.789-800, 2008.

MAIA, J.L.T.; RIBEIRO, M.R. 2004. Cultivo contínuo da cana-de-açúcar e modificações químicas de um Argissolo Amarelo fragipânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1127-1132, 2004a.

MAIA, J.L.T.; RIBEIRO, M.R. Propriedades de um Argissolo Amarelo fragipânico de Alagoas sob cultivo contínuo da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.1, p.79-87, jan. 2004b.

MANICHON, H. **Influence des systèmes de culture sur le profil cultural : élaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morphologique**. (Tese de doutorado). 214p. 1982, INAPG, Paris.

MARINHO, M. L. e ALBUQUERQUE, G. A. C.- Calagem - In: **Nutrição e Adubação da cana-de-açúcar no Brasil**, 369 p. -Piracicaba /SP - 1983.

MARINHO, M.L., ALBUQUERQUE, G .A.C. Efeitos do cobre e zinco na produção de cana-de-açúcar em solos de tabuleiro de Alagoas. Rio Largo, Alagoas **IAA/Planalsucar** Coone, 28p. 1981.

MARSCHNER, H. Effect of internal and external factors on root growth and development. In: Mineral nutrition of higher plantas: 2. ed. London, Academic Press, 1995. p.508-36.

MATERECHERA, S.A.; ALSTON, A.M.; KIRBY, J.M.; DEXTER, A.R. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. *Plant and Soil*, v.144, p.297-303, 1992.

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

MEDINA, C.C. **Estudo da aplicação de gesso, calcário e vinhaça na produção e enraizamento de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 1993. 175p (Tese de Doutorado), Botucatu, Universidade Estadual Paulista.

MITCHELL, R.D.J.; THORBURN, P.J.; LARSEN P. Quantifying the loss of nutrients from the immediate area when sugarcane residues are burnt. *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists*, v.22, p.206-211. 2000.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, UFLA, 2002. 626p.

MULLER, M.M.L. **Influência do monocultivo na cana-de-açúcar nas propriedades físicas e químicas de um Nitossolo Vermelho e um Neossolo Quartzarênico**. 2002.120 p Tese (Doutorado em Ciências agrônômicas) Universidade Estadual Paulista. Botucatu, SP.

MUZZILI, O. Fertilidade do solo em plantio direto. In: FANCELLI, A. L.; TORRADO, P. V.; MACHADO, J. **Atualização em plantio direto**. Campinas, Fundação Cargil, 1985, p.147-160.

NAYAK, D.R.; BABU, Y.J.; ADHYA, T.K. Long-term application of compost influences microbial biomass and enzyme activities in a tropical Aeris Endoaquept planted to rice under flooded condition. **Soil Biology and Biochemistry**, v.39, p.1897-1906, 2007.

NEVES, C. S. V. J.; FELLER, C.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; TAVARES FILHO, J.; FORTIER, M. Soil bulk density and porosity of homogeneous morphological units identified by the Cropping Profile Method in clayey Oxisols in Brazil. **Soil and Tillage Research.**, 71:109-119, 2003.

NOBLE, A.D., MOODY, P., BERTHELSEN, S. Influence of changed management of sugarcane on some soil chemical properties in the humid wet tropics of north Queensland. **Australian Journal of Soil Research**. v.41. p.1133-1144, 2003.

NOGUEIRA, M.A.; ALBINO, U.B.; BRANDÃO-JÚNIOR, O.; BRAUN, G.; CRUZ, M.F.; DIAS, B.A.; DUARTE, R.T.D.; GIOPOPO, N.M.R.; MENNA, P.; ORLANDI, J.M.; RAIMAN, M.P.; RAMPAZO, L.G.L.; SANTOS, M.A.; SILVA, M.E.Z.; VIEIRA, F.P.; TOREZAN, J.M.D.; HUNGRIA, M.; ANDRADE, G.. Promising indicators for assessment of agroecosystems alteration among natural, reforested and agricultural land use in southern Brasil. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 115, p. 237-247, 2006.

OLIVEIRA, J.C.M.; VAZ, C.M. P.; REICHARDT, K. Efeito do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades físicas de um latossolo vermelho escuro. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.52, n.1, p.50-55, 1995.

ORLANDO FILHO, J., RODELLA, A.A., Análise química do solo e recomendação de adubação da cana-de-açúcar no Brasil. **Coleção Planalsucar 2**: 155-178. 1983.

ORLANDO FILHO, J.; CARMELLO, Q.A.C.; PEXE, C.A.; GLÓRIA, A.M. Adubação de soqueiras de cana-de-açúcar sob dois tipos de despalha: cana crua x cana queimada. **STAB: Açúcar e Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.12, n.4, p.7-11, 1994.

ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V.C.; CARMELLO, Q.A.C.; BEAUCLAIR, E.G.F. Relações K, Ca e Mg de solo Areia Quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **Stab**, Açúcar Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v.14, n.5, p.13-17, 1996.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETTO, R.; MURAOK, T.; ZOTELLI. Efeitos do sistema de despalha (cana crua x cana queimada) sobre algumas propriedades do solo. **STAB: Açúcar e Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.16, n.6, p.30-3, 1998.

PASSIOURA, J.B. Soil structure and plant growth. **Australian Journal and soil research**, v.29, p.717-728, 1991.

PAULINO, A. F.; MEDINA, C.C.; AZEVEDO, M.C.B.; SILVEIRA, K.R.P.; TREVISAN, A. A.; MURATA, I. M. Escarificação de um latossolo vermelho na pós-colheita de soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira da ciência do solo**, v.28, p.911-917, 2004.

PEDROTTI, A.; FERREIRA, M.M.; CURI, N.; SILVA, M.L.N.; LIMA, J.M.; CARVALHO, R. Relação entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1-9, 2003.

POWLSON, D.S., BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19 p.159–164, 1987.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; DO PRADO, H.; MORETTI, F.C. Aspectos estruturais de raízes de cana-de-açúcar sob efeito da compactação do solo. **Bragantia**, v. 57, n. 1, p. 49-55, 1998.

RAIJ, B. Van., **Avaliação da fertilidade do solo**. In : YAMADA T . ed., Piracicaba, Instituto da Potassa (EUA - Suíça), 192 p. 1981.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.

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

RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C. The cultural profile methodology utilization to evaluate the tillage effects and tillage equipment efficiency. In: WORLD CONGRESS ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 12. Milano, 1994. **Proceedings**. Merelbeke, CIGR, p.1273-1279. 1994.

RALISCH, R. **Efeito de três sistemas de manejo no estado estrutural de um Latossolo Roxo**. 1995. 65p. (Tese de mestrado) Botucatu, UNESP.

RALISCH, R; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C. Utilisation du profil cultural pour l'étude de la compactation des sols ferralitiques de l'État du Paraná (Brésil). In : **Réunion du Groupe Thématique 'Structure et Fertilité des Sols Tropicaux'**, v. 2, ORSTOM, Montpellier, France, pp.57-72, 1995.

REIS J R. 2001. Probabilidade de resposta da cana-de-açúcar à adubação potássica em razão da relação $K+(Ca^{2+}+Mg^{2+})^{-0,5}$ do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 9, p. 1175-1183, set. 2001.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; FUENTES LLANILLO, R.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 26, n. 3, p. 321-344, jul./set. 2005.

ROBERTSON, F. A.; THORBURN, P.J. Decomposition of sugarcane harvest residue in different climatic zones. **Australian Journal of Soil Research**, v.45 n°. 1 p.1-11. 2007a.

ROBERTSON, F. A.; THORBURN, P.J. Management of sugarcane harvest residues: consequences for soil carbon and nitrogen. **Australian Journal of Soil Research**, v.45 n.1 p.13-23. 2007b.

RODRIGUES, E.F.G.; GUERRA, J.G.N.; ALMEIDA, D.L.; DEPOLLI, H. Biomassa microbiana de carbono de solos de Itaguaí (RJ): comparação entre os métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.427- 432, 1994.

ROSOLEM, C.A.; VALE, L.S.R.; GRASSI FILHO, H.; MORAES, M.H. Sistema Radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.491-497, 1994.

RUSSELL, R.S.; GOSS, M.J. Physical aspects of soil fertility – The response of roots to mechanical impedance. *Neth. J. Agric. Sci.* V.22, p.305-318, 1974.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, W.A.; LAL, R.; VENSKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C.; FEIGI, B.E. Organic Matter Dynamics and Carbon Sequestration Rates for a Tillage Chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.1486-1499, 2001.

SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B.; ALVES, G.D. Mineralização do carbono e do nitrogênio em solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, p.33-38, 1985.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; CAVALCANTI, F.J.A. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. III- teor de nutrientes e distribuição radicular no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.22, p.425-431, 1987.

SANCHEZ, P.A.; UEHARA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C; KAMPRATH, E.J., eds. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison, American Society of Agronomy, 1980.

SANCHEZ, P.A.; VILLACHICA, J.H.; BANDY, D.E. Soil fertility dynamics after clearing a tropical rainforest in Peru. **Soil Science Society of America Journal**, v.47, p.1171-1178, 1983.

SANTOS, M.A.C., SOBRAL, A.F., - Calibration of Cooper in sugarcane in northeast Brazil. *In* : **Proceedings** of Congress of the International Society of Sugarcane Technologists, 17, Manila 1; 41 p.1-20, 1981.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT: User's guide**, version 6. 4.ed. Cary, 1989. v.1. 943p.

SCHIMEL, D.S.; COLEMAN, D.C.; HORTON, K.A. Soil organic matter dynamics in paired rangeland and cropland toposequences in North Dakota. **Geoderma**. v.36, p.201–214, 1985.

SEIXAS, F. **Efeitos físicos da colheita mecanizada de madeira sobre o solo**. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L., eds. Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba, IPEF, 2002. p.313-350.

SHANG, C.; TIESSEN, H. Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density and magnetic fractionations. **Soil Science**, Baltimore, v.162, n.11, p.795-807, 1997.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.9, p.249- 254, 1985.

SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R. Caracterização de latossolo amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no estado de alagoas: atributos morfológicos e físicos **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.677-684, 1997.

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, p.291-299, 1998.

SILVA, A.J.N. **Alterações físicas e químicas de um Argissolo Amarelo coeso sob diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar**. 2003. 120p. (Tese de Doutorado). Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V.; LIMA, J.F.W.F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.29, p.833-842, 2005.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V.; CARVALHO, F.G.; LIMA, J. F. W. F. Alterações físicas e químicas de um Argissolo amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.76–83, 2006a.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V.; CARVALHO, F.G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.579-585, 2006b.

SILVA, A.P.; KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.877-883, 1997.

SILVA, M. S. L.; RIBEIRO, M. R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de tabuleiros do Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.16, n.2, p.397-402, 1992.

SILVA, M.S.L.; RIBEIRO, M.R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar nas propriedades químicas de solos argilosos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p.389-394, 1995.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, v.30, p.795-801, 2000.

SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turn-over and microaggregate formation: A mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biology and Biochemistry**. v.32, p.2099-2103, 2000.

SKJEMSTAD; J. O.; TAYLOR, J. A., JANIK, L. J.; MARVANEC, S. P.. Soil organic carbon dynamics under long-term sugarcane monoculture. **Australian Journal of Soil Research**, v.37. n°1, p.151-161, 1999.

SMITH, D. M.; INMAN-BAMBER, N. G.; THORNBURN, P. J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.92, p.163-189, 2005.

SMITH, J.L.; PAUL, E.A. The significance of microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J.M.; STOKY, G., eds. Soil biochemistry. New York, Marcel Decker, 1990. p.357-396.

SOUZA, Z. M.; CAMPOS, M. C. C.; CAVALCANTE, I. H. L.; MARQUES JUNIOR, J.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.1, p.128-134, 2006.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas de relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.6, p.937-944, 2004.

SOUZA, Z.M.; PRADO, R. de M.; PAIXÃO, A.C.S.; CESARIN, L.G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.3, p.271-278, 2005.

SPAIN, A. Influence of environmental conditions and some soil chemical properties on the carbon and nitrogen contents of some tropical Australian rainforest soils. **Australian Journal of Soil Research**, v.28, p.825-839, 1990.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v.30, p.195-207, 1992.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.3, p.229-235, 1991.

SUMAN A.; LAL, M.; SINGH A. K.; GAUR, A. Microbial biomass turnover in indian subtropical soils under different sugarcane intercropping systems. **Agronomy Journal**, v.98, p.698-704. 2006.

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**, v.23, p.393-399, 1999.

TAVARES FILHO, J; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.725-730, 2001.

TAYLOR, H. M.; GARDNER, H. R. Penetration of cotton seedlings taproots as influenced by bulk density, moisture and strength of soil. **Soil Science**, v.96, p.153-156, 1963.

THIOULOUSE, J., CHESSEL, D., DOLEDEC, S., OLIVIER, J. M. ADE-4: A multivariate analysis and graphical display software. **Statistics and Computing**, v.7, p.75-83, 1997.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização e avaliação do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p. 573-581, 1998.

TORMENA, C.A.; ARAÚJO, M.A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J.M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.2, p.211-219, 2007.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.1023-1031, 2004.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p. 333-339, 1996.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, v.2, p.195-276, 2002.

VANCE, E.D., BROOKES, P.C., JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, p.703-707, 1987.

VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A.; PERECIN, D.; JORGE, L. A. C.; LANDELL, M. G. A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.849-858, 2003.

VASCONCELOS, A. C. M.; GARCIA, J. C. Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar. Cana-de-açúcar: ambientes de produção. **Encarte técnico POTAFOS – Informações técnicas**, Piracicaba, n.110, 2005, 32p.

VASCONCELOS, A.C.M. **Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual**. Jaboticabal, 2002. 140 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

VITORELLO, V.A.; CERRI, C.C.; ANDREUX, F. et al. Organic matter and natural carbon-13, distribution in forested and cultivated oxisols. **Soil Science Society American Journal**, 53:773-778, 1989.

VITTI, G.C., de OLIVEIRA, D.B., QUINTINO, T.A. Micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar. In: **Atualização em produção de Cana-de-açúcar**. SEGATO, S.V. et al., Org. Piracicaba, SP. 415p. 2006a.

VITTI, G.C., LIMA, E., CICARONE, P. Cálcio, Magnésio e Enxofre IN: **Nutrição Mineral de Plantas**. FERNANDEZ, M.S. ed. Viçosa, MG. Sociedade Brasileira De Ciência do Solo 432p. 2006.

WARDLE, D.A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biology Review**. v.67, p.321-358, 1992.

WARDLE, D.A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. (Eds.) **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 542p. (EMBRAPA CNPAF. Documentos, 46).

WARDLE, D.A.; GHANI, A. A critique of the microbial metabolic quotient (qCO_2) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. **Soil Biology and Biochemistry**, v.27, p.1601-1610, 1995.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.5, p.487-494, 2005.

WHITELEY, G.M.; DEXTER, A.R. Root development and growth of oilseed, wheat and peã crops on tilled and non-tilled soil. **Soil and Tillage Research**, v.2, p.379-393, 1982.

WOOD, A.W. Management of crop residues following green harvesting of sugarcane in north Queensland. **Soil and Tillage Research**, v.20, p.69-85, 1991.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Valores médios da composição granulométrica em diferentes camadas das áreas do LVeF plantado com cana por vários períodos⁽¹⁾

APÊNDICE A – Valores médios da composição granulométrica em diferentes camadas das áreas do LVeF plantado com cana por vários períodos⁽¹⁾

Cortes	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Areia total
Nº	g Kg ⁻¹				
0,0-0,1 m					
Mata	730	114	68	88	156
1	696	145	130	269	399
3	656	179	73	92	165
8	762	105	44	88	132
10	699	126	102	73	175
16	708	121	68	103	171
0,10-0,20 m					
0	699	164	64	74	137
1	680	151	106	233	339
3	725	126	73	76	149
8	761	90	41	108	149
10	703	110	91	96	187
16	754	88	51	108	159
0,20-0,40 m					
0	771	96	49	84	133
1	707	55	68	170	237
3	757	89	50	103	154
8	767	81	35	116	151
10	756	65	73	106	179
16	759	78	54	110	164

Método da pipeta (Embrapa 1997). ⁽¹⁾ media de seis repetições

APÊNDICE B

Valores médios da composição granulométrica em diferentes camadas das áreas do LVd plantado com cana por vários períodos⁽¹⁾

APÊNDICE B – Valores médios da composição granulométrica em diferentes camadas das áreas do LVd plantado com cana por vários períodos⁽¹⁾

Cortes	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Areia total
Nº	g Kg ⁻¹				
0,0-0,1 m					
Mata	214	99	522	165	687
1	225	116	507	151	659
2	200	119	516	165	681
3	237	94	593	76	669
6	169	91	501	239	740
7	210	70	552	168	720
0,10-0,20 m					
Mata	191	114	564	131	695
1	165	83	536	216	752
2	196	76	580	147	728
3	291	110	585	14	599
6	156	56	506	282	788
7	221	99	504	176	680
0,20-0,40 m					
Mata	202	93	513	192	705
1	220	71	515	194	709
2	220	50	548	182	730
3	305	105	539	51	590
6	169	62	477	292	769
7	231	90	537	142	679

Método da pipeta (Embrapa 1997). ⁽¹⁾ media de seis repetições

ANEXO

ANEXO A
Descrição de variedades utilizadas

ANEXO A – Descrição de variedades utilizadas

RB72454 (Variedade obtida pelo IAA/Planalsucar)

Características Agroindustriais	
Produtividade	
Cana-planta..... Alta	Florescimento..... Pouco
Cana-soca..... Alta	Chochamento..... Pouco
Exigência em solos..... Baixa	Teor de sacarose..... Alto
Brotação de soqueira..... Média	Maturação..... Tardia
Perfilhamento..... Médio	Teor de fibra..... Baixo
Fechamento entrelinhas..... Bom	Sensibil.a herbicidas Não
Tombamento..... Raro	Declínio de outono Pouco

Reação a Doenças e Pragas	
Carvão Intermediária	Falsas estrias verm..... Intermediária
Ferrugem..... Resistente	Escaldadura-das-folhas..... Resistente
Mosaico..... Intermediária	Podridão vermelha Intermediária
Estrias vermelhas Intermediária	Broca..... Intermediária

Características Botânicas
Touceiramento médio, com colmos eretos, empalhados, de diâmetro médio, e de cor verde clara, com manchas de cera escurecidas; entrenós médios, alinhados em leve ziguezague; gemas ovaladas, pequenas, com almofada estreita; capitel médio, com folhas dispostas em forma contorcida, de largura e comprimento médios, as novas espigadas, podendo apresentar-se dobradas nas pontas, e as inferiores curvadas no terço inferior; uma só aurícula, lanceolada, de tamanho médio; bainha esverdeada mas com áreas arroxeadas, com pouco joçal.

Recomendações
- Não plantar em épocas frias
- Não colher nas épocas mais secas ou frias, especialmente nos solos mais pesados
- Com maturadores pode ser realizada a colheita da cana-planta antes de julho
- Evitar corte em julho/agosto nos solos argilosos e ressecados, quando com estresse hídrico.
Destaques
- Ampla adaptabilidade e alta estabilidade, com Alta produtividade agrícola e industrial

Resultados Médios							
Cana-planta (média de 71 experimentos)				3º Corte (média de 34 experimentos)			
Variedade	tc/ha	pc	tp/ha	Variedade	tc/ha	pc	tp/ha
RB72454	129,9	14,55	18,87	RB72454	100,8	15,45	15,61
SP70-1143	110,0	14,33	15,78	SP70-1143	88,5	15,22	13,53

RB855156

Variedade obtida pela equipe do PMGCA/ UFSCar
(Universidade Federal de São Carlos)

Características Agroindustriais	
Produtividade	
Cana-planta.....	Média
Cana-soca.....	Média
Exigência em solos.....	Média
Brotação de soqueira.....	Boa
Perfilhamento.....	Bom
Fechamento entrelinhas.....	Bom
Tombamento.....	Eventual
Florescimento.....	Intenso
Chochamento;.....	Pouco
Teor de sacarose.....	Alto
Maturação.....	Precoce
Teor de fibra.....	Baixo
Sensibil.a herbicidas....	Não
Declínio de outono.....	Sim

Reação a Doenças e Pragas	
Carvão.....	Resistente
Ferrugem.....	Resistente
Mosaico.....	Resistente
Estrias vermelhas.....	Resistente
Falsa estrias verm.....	Resistente
Escaldadura-das-folhas.....	Resistente
Podridão vermelha.....	Resistente
Broca.....	Resistente

Características Botânicas
Elevado touceiramento, principalmente na soca, colmos eretos, mas decumbentes na fase adulta, empalhados; diâmetro fino a médio, cor verde clara, com pouca cera, e bastante rachadura; entrenós médios, dispostos em leve ziguezague; gemas rombóides, sem almofada e com o topo não atingindo o anel de crescimento; capitel médio, fechado, com folhas de largura e comprimento médios, verde opacas, eretas, com leve curvatura na ponta; aurícula lanceolada, comprida, de cor palha; bainha com abundante joçal, mas pouco agressivo.

Recomendações
- Não plantar como cana-de-ano
- Colher sempre no início de safra

Destaques
- Alta precocidade
- Boa soqueira

Resultados Médios							
Cana-planta (média de 32 experimentos)				Cana Soca (média de 23 experimentos)			
Variedade	tc/ha	pc	tp/ha	Variedade	tc/ha	pc	tp/ha
RB855156	106,7	15,72	16,71	RB855156	106,7	15,72	16,71
SP80-1842	122,5	14,72	17,87	SP80-1842	118,4	15,41	18,19

RB855536

Variedade obtida pela equipe do PMGCA/ UFSCar
(Universidade Federal de São Carlos)

Características Agroindustriais	
Produtividade	Florescimento..... Ausente
Cana-planta..... Alta	Chochamento..... Ausente
Cana-soca..... Alta	Teor de sacarose..... Alto
Exigência em solos..... Alta	Maturação..... Média
Brotação de soqueira..... Ótima	Teor de fibra..... Baixo
Perfilhamento..... Alto	Sensibil.a herbicidas.... Não
Fechamento entrelinhas..... Ótima	Declínio de outono..... Ausente
Tombamento..... Não	

Reação a Doenças e Pragas	
Carvão..... Resistente	Falsa estrias verm..... Resistente
Ferrugem..... Resistente	Escaldadura-das-folhas..... Resistente
Mosaico..... Resistente	Podridão vermelha..... Intermediária
Estrias vermelhas..... intermediária	Broca..... Intermediária

Características Botânicas
Touceiramento bom, com colmos semi-abertos e eretos, empalhados, mas com bainhas semi-abertas, de fácil despalha, de diâmetro médio, e de cor arroxeadas; entrenós médios, alinhados em leve zig-zague, e com média quantidade de cera; gemas ovaladas a arredondadas, médias, com almofada média; capitel médio, com folhas espetadas, bordo palha estreito, com pouco joçal (57 e 60), decíduo.

Recomendações
- Plantar em solos férteis com boa disponibilidade de água.

Destaques
- Alta produtividade agrícola e industrial
- Ótima brotação de soqueira, mesmo sob palha
- Porte ereto

Resultados Médios							
Cana-planta (média de 74 experimentos)				3º Corte (média de 23 experimentos)			
Variedade	tc/ha	pc	tp/ha	Variedade	tc/ha	pc	tp/ha
RB855536	123,1	15,11	18,54	RB855536	105,7	15,68	16,59
RB72454	127,7	14,83	18,94	RB72454	91,1	15,60	14,19

RB867515

Variedade obtida pela equipe do PMGCA/UFV
(Universidade Federal de Viçosa)

Características Agroindustriais	
Produtividade	Florescimento..... Eventual
Cana-planta..... Alta	Chochamento..... Pouco
Cana-soca..... Alta	Teor de sacarose..... Alto
Exigência em solos..... Baixa	Maturação..... Média / Tardia
Brotação de soqueira..... Boa	Teor de fibra..... Médio
Perfilhamento..... Médio	Sensibil.a herbicidas.. Tolerante
Fechamento entrelinhas..... Bom	
Tombamento..... Eventual	

Reação a Doenças e Pragas	
Carvão..... Resistente	Falsas estrias verm..... Intermediária
Ferrugem..... Resistente	Escaldadura-das-folhas..... Resistente
Mosaico..... Resistente	Podridão vermelha..... Resistente
Estrias vermelhas..... Intermediária	Broca..... Resistente

Características Botânicas
Rápida velocidade de crescimento, porte alto, hábito de crescimento ereto, ampla adaptabilidade, boa estabilidade, alta densidade do colmo, boa despalha.

Recomendações
- Não deve ser plantada em solos argilosos de boa fertilidade devido a incidência de estrias vermelhas.
- Quebra de ponteiros na época de intensa vegetação.
- Nos ambientes com alto potencial de produção há possibilidades, devido à alta produtividade agrícola, de tombamento e atraso na maturação.

Destaques
- Tolerância à seca.
- Ótima brotação de soqueira, mesmo colhida crua.
- Alto teor de sacarose, com curva semelhante à RB72454.
- Crescimento rápido com alta produtividade.
- Boa opção como cana-de-ano.

Resultados Médios							
Cana-planta (média de 67 experimentos)				4º Corte (média de 67 experimentos)			
Variedade	tc/ha	pc	tp/ha	Variedade	tc/ha	pc	tp/ha
RB867515	136,6	14,4	19,7	RB867515	105,7	14,9	15,6
RB72454	133,5	13,5	18,0	RB72454	92,0	14,9	13,8

RB928064

Variedade obtida pela equipe do PMGCA/UFV
(Universidade Federal de Viçosa)

Características Agroindustriais	
Produtividade	
Cana-planta.....	Alta
Cana-soca.....	Alta
Exigência em solos.....	Média
Brotação de soqueira.....	Muito boa
Perfilhamento.....	Médio
Fechamento entrelinhas.....	Bom
Tombamento.....	Raro
Florescimento.....	Ausente
Chochamento.....	Ausente
Teor de sacarose.....	Alto
Maturação.....	Média
Teor de fibra.....	Médio
Sensibilidade a herbicidas.....	Tolerante

Reação a Doenças e Pragas	
Carvão.....	Resistente
Ferrugem.....	Resistente
Mosaico.....	Resistente
Estrias vermelhas....	Resistente
Falsa estrias verm.....	Intermediária
Escaldadura-das-folhas.....	Resistente
Podridão vermelha.....	Intermediária
Broca.....	Medianamente resistente

Características Botânicas
Velocidade de crescimento regular, porte médio, hábito de crescimento ereto, ampla adaptabilidade, boa estabilidade, alta densidade do colmo, boa despalha.

Recomendações
- Deve ser manejada em ambientes sem restrição, com alta fertilidade
- Indicada para colheita em meio de safra (junho a agosto), podendo ser antecipada com maturadores.

Destques
- Uniformidade dos colmos (diâmetro e altura). Perfil ideal para colheita mecanizada.
- Muito boa brotação de soca em todos os tipos de solo.
- Excelente vigor.

Resultados Médios							
Cana-planta (média de 46 experimentos)				4º Corte (média de 67 experimentos)			
Variedade	tc/ha	pc	tp/ha	Variedade	tc/ha	pc	tp/ha
RB928064	139,7	14,5	20,2	RB928064	95,1	14,0	13,5
RB72454	138	14,1	19,3	RB72454	99,0	13,1	12,9

SP775181

Variedade obtida pela equipe do COPERSUCAR

Características Agroindustriais	
Produtividade	Florescimento..... Médio
Cana-planta..... Média	Chochamento..... Ausente
Cana-soca..... Média	Teor de sacarose..... Alto
Exigência em solos..... Média	Precocidade..... Boa
Brotação de soqueira..... Boa	Teor de fibra..... Baixo
Perfilhamento..... Bom	Sensibil.a herbicidas... Baixo
Fechamento entrelinhas..... Ótima	Declínio de outono..... Não
Tombamento..... Pouco	

Reação a Doenças e Pragas	
Carvão..... Resistente	Falsa estrias verm..... R esistente
Ferrugem..... Resistente	Escaldadura-das-folhas..... Resistente
Mosaico..... Intermediário	Podridão vermelha..... Intermediária
Estrias vermelhas..... resistente	Broca..... Intermediária

Características Botânicas
Touceiramento médio, com colmos eretos, empalhados, de diâmetro médio, e de cor verde amarelada, com manchas de cera; entrenós médio, alinhados em leve ziguezague; gemas arredondadas, médias, com folhas verde-escuras, de largura e comprimento médios, as novas espigadas e dobradas nas pontas, com margem serrilhada agressiva; uma só aurícula e ainda transitória; bainha longa e esverdeada.

Recomendações
- Cuidado na aplicação de herbicida

Destques
- Porte ereto

Tomado de PMGCA. (2008). <http://pmgca.dbv.cca.ufscar.br/hm/catal/catvaried.php> para variedades RB.