

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DE
UM LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRICO SOB DOIS
SISTEMAS DE COLHEITA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Diogo Mazza Barbieri

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Março de 2011

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DE UM
LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRICO SOB DOIS
SISTEMAS DE COLHEITA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Diogo Mazza Barbieri

Orientador: Prof. Dr. José Marques Júnior

Co-orientador: Prof. Dr. Gener Tadeu Pereira

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Março de 2011

B236a Barbieri, Diogo Mazza
Atributos físicos, químicos e mineralógicos de um Latossolo Vermelho Eutroférico sob dois sistemas de colheita de cana-de-açúcar / Diogo Mazza Barbieri. -- Jaboticabal, 2011
xiii, 73 f. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2011

Orientador: José Marques Júnior

Banca examinadora: Mara de Andrade Marinho, Rafael Roberto Aloisi, Marcílio Vieira Martins Filho, Carlos Eduardo Angeli Furlani
Bibliografia

1. Adsorção de fósforo. 2. Manejo da cana-de-açúcar. 3. Óxidos de ferro. 4. Variabilidade espacial. I. Título. II. Jaboticabal - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.61:631.41

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRICO SOB DOIS SISTEMAS DE COLHEITA DE CANA-DE-AÇÚCAR

AUTOR: DIOGO MAZZA BARBIERI

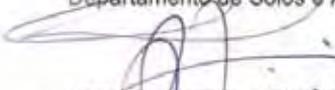
ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE MARQUES JUNIOR

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. GENER TADEU PEREIRA

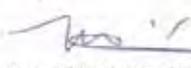
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOSE MARQUES JUNIOR

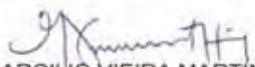
Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. RAFAEL ROBERTO ALOISI

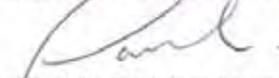
Departamento de Solos e Nutrição de Plantas / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP / Piracicaba/SP


Profa. Dra. MARA DE ANDRADE MARINHO

Departamento de Água e Solo / Universidade Estadual de Campinas


Prof. Dr. MARCILIO VIEIRA MARTINS FILHO

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Data da realização: 28 de março de 2011.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

DIOGO MAZZA BARBIERI – nascido em 09 de Fevereiro de 1982 em Jaboticabal – SP. cursou o segundo grau no Colégio Objetivo de Jaboticabal com término em 1999. Em 2000 ingressou no curso de Engenharia Agronomia na Universidade Estadual Paulista (UNESP/FCAV), Jaboticabal – SP, sendo estagiário do Departamento de Solos e Adubos de julho de 2000 a dezembro de 2004, e bolsista CNPq durante dois anos, desenvolvendo trabalhos de campo e laboratório. Em março de 2005 ingressou no curso de Mestrado em Agronomia na área de Produção Vegetal, na Universidade Estadual Paulista (UNESP/FCAV), com término em março de 2007. Em março de 2007, ingressou no Curso de Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) na Universidade Estadual Paulista (UNESP/FCAV). No mês de fevereiro de 2011, submeteu-se à banca para a defesa de Tese, sendo aprovado como Doutor em Agronomia.

A DEUS

Aos meus pais,

João Carlos Barbieri e Maria Aparecida Mazza Barbieri

por serem os grandes responsáveis por mais essa conquista graças a todo o amor,
carinho e dedicação de toda uma vida,

DEDICO

A minha amada esposa **Denise da Silva Martins Barbieri** por todo amor e carinho e
pela vida dos meus amados filhos **Pedro Martins Barbieri** e **Gabriel Martins Barbieri**

A minha querida tia **Fátima Aparecida Barbieri Braga**, aos meus queridos irmãos
Gislaine Mazza Barbieri e **Rafael Mazza Barbieri**

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Aos meus saudosos avós José Barbieri e Yolanda Secato Barbieri por toda dedicação e amor ao longo de toda uma honrosa vida de trabalho e de dedicação aos filhos e netos.

Ao meu saudoso avô Olívio Mazza, e em especial a minha avó Zenayde Batista Ferreira Mazza por todo o amor e carinho que sempre me dedicaram.

Ao meu tio e padrinho Jairo Antonio Mazza pelo carinho e por todo incentivo e apoio na vida pessoal e profissional.

Aos meus tios José Henrique Barbieri, Maria Rosa Machado Barbieri, Sueli Minatel Mazza e Edson Ibelli Braga que sempre me incentivaram e apoiaram a estudar.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP – Jaboticabal que me acolheu ao longo de 10 anos, possibilitando toda a minha formação profissional.

Ao orientador e amigo Dr. José Marques Júnior que durante estes 10 anos de convivência me apoiou e me conduziu a mais esta conquista

Ao professor Dr. Gener Tadeu Pereira que neste período me auxiliou e orientou na realização deste trabalho, tornando-se um grande amigo.

Ao grande amigo Diego (Pimpão) por toda ajuda na realização deste trabalho e pelas risadas e aventuras ao longo destes anos.

Ao amigo Alan pela valorosa contribuição neste trabalho e por toda amizade e companheirismo desde o tempo de graduação.

Aos colegas de Departamento Milton, Lívia, Rafael Peluco e Lucas pela ajuda na realização deste trabalho.

Aos amigos de minha cidade Fábio (Rodela), Ricardo (Quejinho), Zé (Galão), Mauricio, Taty, Fábio (Catanduva), Guilherme (Gui), Leonardo (Léo), Fabricio (Lino) que sempre estiveram ao meu lado nas dificuldades da vida.

Aos “irmãos” de minha comunidade neocatecumenal por sempre estarem ao meu lado nos momentos difíceis da vida.

A Usina São Martinho pela concessão da área e suporte para a realização da pesquisa.

A todos que fizeram parte destes quatro anos de batalha.

Muito obrigado...

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	x
SUMMARY	xii
CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	01
1.1. A cultura da cana-de-açúcar no Brasil.....	01
1.2. Sistemas de colheita de cana-de-açúcar e as propriedades do solo.....	03
1.3. Efeito dos sistemas de colheita de cana-de-açúcar nos óxidos de ferro e na adsorção de fósforo.....	05
1.4. Variabilidade e correlação espacial dos atributos dos solos.....	07
1.5. Hipótese.....	10
1.6. Objetivos.....	10
 CAPÍTULO 2. EFEITOS DOS SISTEMAS DE COLHEITA DE CANA-DE- AÇÚCAR NOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO NA REGIÃO DE RIBEIRÃO PRETO-SP.....	11
2.1. Introdução.....	11
2.2. Material e Métodos.....	14
2.3. Resultados e Discussão.....	17
2.4. Conclusões.....	24
 CAPÍTULO 3. MATÉRIA ORGÂNICA, ÓXIDOS DE FERRO E ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM LATOSSOLOS COM DIFERENTES SISTEMAS DE COLHEITA DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	25
3.1. Introdução.....	26
3.2. Material e Métodos.....	28
3.3. Resultados e Discussão.....	33
3.4. Conclusões.....	40
 CAPÍTULO 4. VARIABILIDADE E CORRELAÇÃO ESPACIAL DA ADSORÇÃO DE FÓSFORO, DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E DOS ÓXIDOS DE FERRO EM DIFERENTES SISTEMAS DE COLHEITA DE CANHA-DE-AÇÚCAR.....	41
4.1. Introdução.....	42
4.2. Material e Métodos.....	44
4.3. Resultados e Discussão.....	47
4.4. Conclusões.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRICO SOB DOIS SISTEMAS DE COLHEITA DE CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO – A cana-de-açúcar aparece atualmente no cenário agrícola brasileiro como uma das principais culturas, apresentando-se em grande expansão não somente no Estado de São Paulo, mas também em vários outros estados brasileiros. Devido a esta expansão e a leis federais que regularizam o fim das queimadas nos canaviais, a colheita da cana-de-açúcar vem passando por um momento de transição, deixando de ser realizada de forma manual e com queima do canavial (cana queimada) e passando a ser colhida com máquina e sem queima (cana crua). Com a mudança na forma de colheita uma grande quantidade de palha tem sido deixada sobre o solo, criando no pedoambiente condições que podem causar alterações nas propriedades químicas, físicas e até mesmo nos óxidos de ferro, que são considerados atributos do solo estáveis por longo tempo. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar as variações dos atributos químicos, físicos e mineralógicos do solo submetido a dois diferentes tipos de colheita de cana-de-açúcar e determinar a variabilidade espacial destes atributos do solo em áreas de colheita de cana crua e cana queimada. Duas parcelas de aproximadamente um hectare cada foram delimitadas em áreas com cana crua e cana queimada. Foram retiradas, em cada área, amostras de solos em 126 pontos, nas profundidades de 0,0-0,25 e 0,25-0,50 m. As amostras foram submetidas às análises químicas, físicas e mineralógicas. Na profundidade de 0,0-0,25 m foram escolhidos 20 pontos em cada área, os quais foram submetidos à análise do grau de humificação da matéria orgânica do solo. Os resultados das análises foram submetidos às análises da estatística descritiva com teste de comparação de médias, à análise estatística multivariada de agrupamentos e ainda à análise de componentes principais. Posteriormente foram realizadas análises geoestatísticas, obtendo-se a dependência espacial, semivariogramas e mapas de krigagem dos atributos estudados. Para analisar a correlação espacial entre os atributos estudados, foram construídos semivariogramas cruzados. A adição de material orgânico

ao solo proporcionou melhoria nos atributos físicos do solo e na qualidade da matéria orgânica, enquanto que a área de cana queimada apresentou uma melhor fertilidade do solo em relação ao sistema de cana crua em ambas as profundidades avaliadas. A aplicação da estatística multivariada possibilitou a divisão de todos os atributos estudados em dois diferentes grupos de manejo (cana crua e cana queimada). O sistema de colheita de cana crua promoveu condições pedoambientais que provocaram alterações na cristalografia dos óxidos de ferro, um aumento no grau de humificação e uma menor adsorção de fósforo nesta área em relação ao sistema de cana queimada. A variabilidade espacial dos atributos químicos é maior em áreas com colheita de cana crua quando comparadas com áreas de colheita de cana queimada.

Palavras-chave: adsorção de fósforo, manejo da cana-de-açúcar, óxidos de ferro, variabilidade espacial

PHYSICAL, CHEMICAL AND MINERALOGICAL ATTRIBUTES OF AN OXISOL UNDER TWO SYSTEMS OF HARVESTING SUGAR CANE

SUMMARY – The sugarcane currently appears in the agricultural scenario as one of the main crops, performing in expansion not only in the state of São Paulo, but also in another several states. Duo to this expansion and the federal laws that regulate the end of fire in the cane fields, the sugarcane harvest is going through a transition moment, ceasing to be held manually and with fire in the fields (burnt cane) and going to be harvested with machinery and without fire (green cane). With the change in the way of harvesting, a large amount of cane straw has been left on the soil surface, creating a new pedoenvironment, which has caused changes in the chemical, physical and even in iron oxides, which are considered stable attributes of the soil for a long time. Thus, this study aimed to characterize the variations in the chemical, physical and mineralogical properties of the soil subjected to two different types of harvesting sugar cane and determine the spatial variability of soil properties in areas of green cane harvesting and burnt cane. Two parcels of approximately one hectare each were defined in areas with green cane and burnt cane. Were taken in each area, soil samples at 126 points in the depths of 0.0-0.25 and 0.25-0.50 m. Those samples were subjected to chemical, physical and mineralogical properties analysis. At a depth of 0.0 to 0.25 m were chosen 20 points in each area, which were subjected to analysis of the degree of humification of soil organic matter. The analysis results were submitted to analysis of descriptive statistics with comparison of means test, the multivariate statistical analysis of clusters and also the principal component analysis. Geostatistical analysis were, thus obtaining the spatial dependence, semivariograms and kriging maps of the attributes studied. To analyze the correlation between the attributes, crossed semivariograms were constructed. The addition of organic matter in soil showed improvement in soil physical properties and quality of organic matter, while the area of burnt cane showed better soil fertility in relation to the system of green cane in both depths. The application of multivariate statistics allowed the division of all attributes studied in two different management groups (green cane and burnt cane). The system of green cane harvesting

has promoted the creation of a new pedoenvironment, causing changes in the crystallography of iron oxides, an increase in the degree of humification and a lower adsorption of phosphorus, when compared to the system of burnt cane. The spatial variability of chemical attributes is higher in areas with green cane harvest than in areas of harvesting of burnt cane.

Keywords: adsorption of phosphorus, management of cane sugar, iron oxides, spatial variability

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1. A cultura da cana-de-açúcar no Brasil

A lavoura de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*) continua em expansão no Brasil. Os maiores índices de aumento de área são encontrados em São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais. Nestes estados, além do aumento da área cultivada, novas usinas estão entrando em funcionamento (CONAB, 2010).

A área de cana-de-açúcar colhida está estimada para a safra 2010/2011 em 8.167.500 hectares, distribuídos em todos os estados produtores (CONAB, 2010). O Estado de São Paulo continua sendo o maior produtor, com 53,6% (4.377.660 hectares), seguido por Minas Gerais com 8,65% (706.580 hectares), Paraná com 7,51% (613.670 hectares), Goiás com 7,34% (599.310 hectares), Alagoas com 5,37% (438.570 hectares), Mato Grosso do Sul com 4,92% (401.810 hectares) e Pernambuco com 4,21% (343.510 hectares).

A produtividade média brasileira está estimada em 79.769 kg há⁻¹, sendo que a região Centro-Sul conduz as médias para cima, devido às condições de produção, tamanho de lavoura, tipo de solo, topografia, clima e tecnologia aplicada. A previsão do total de cana que será moída na safra 2010/11 é de 651.514.300 toneladas, com incremento de 7,8% em relação à safra 2009/10, o que significa que haverá 47.000.000 de toneladas a mais para moagem nesta safra. A previsão é de que do total da cana esmagada, 294.023.700 toneladas (45,13%) serão destinadas à produção de açúcar, as quais devem produzir 38.151.700 toneladas do produto. O restante, 357.490.600 toneladas (54,87%), serão destinadas à produção de álcool, gerando um volume total em torno de 29 milhões de litros de álcool (CONAB, 2010).

Com números bastante expressivos a cultura da cana-de-açúcar é uma das principais atividades agrícolas do país e vem passando por mudanças em seu sistema de cultivo, dentre elas o tipo de colheita, que vem deixando de ser feita manualmente com a queima do canavial e passando a ser colhida com máquina e sem queima da cultura. No sistema de colheita mecanizada sem queima, as folhas, bainhas, e ponteiros

são cortados, triturados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura de resíduo vegetal denominada palha ou palhada. Estima-se que este sistema possa adicionar entre 13 e 20 t há⁻¹ano⁻¹ de palha sobre o solo (CHRISTOFFOLETI et al. 2007), sendo que grande parte é mineralizada no local da deposição e incorporada ao solo. Adversamente, o sistema de colheita por cana queimada elimina a matéria seca e aumenta a concentração de gás carbônico na atmosfera (PANOSSO et al. 2011), contribuindo com o efeito estufa e diminuindo o teor de matéria orgânica no solo (CANELLAS et al. 2007). Esta evolução do sistema é obrigatória e irreversível em todo Brasil, em função de leis federais e estaduais que regulamentam o fim das queimadas (CAMPOS et al. 2008), além do grande crescimento da cultura que necessita cada vez mais de mão-de-obra para colher as grandes áreas de cana-de-açúcar que vêm sendo implantadas em vários estados brasileiros (CANELLAS et al. 2007).

A deposição e a manutenção de palhada sobre a superfície do solo, mesmo contribuindo com a sua conservação, podem causar problemas relacionados ao manejo da cultura (FURLANI NETO et al. 1997). Entre eles podem ser citadas dificuldades durante as operações de cultivo e adubação da soca (AUDE et al. 1993), baixa taxa líquida de mineralização de N no período de um ano agrícola (TRIVELIN et al. 1995), dificuldade de execução de controle seletivo de plantas daninhas e aumento das populações de pragas que se abrigam e multiplicam sob a palhada (MACEDO et al. 2003). Além disso, o grande volume de palha sobre a cana soca dificulta a sua emergência, causando falha na rebrota, especialmente nas variedades melhoradas que foram desenvolvidas em um sistema de colheita com queima, que favorecia a maior taxa de emergência da cana soca (VASCONCELOS 2002).

O tipo de colheita da cana-de-açúcar pode influenciar a produção e a longevidade da cultura (CAMPOS et al. 2010; TAVARES et al. 2010), os atributos físicos (SOUZA et al. 2005; ROQUE et al. 2010), químicos e biológicos do solo (MENDONZA et al. 2000; CANELLAS et al. 2007). Desta forma, com as irreversíveis mudanças sofridas pela colheita de cana nos últimos anos, é importante que vários estudos sejam feitos no sentido de melhor entender o que acontece nas propriedades do solo e conseqüentemente na produtividade da cultura.

1.2. Sistemas de colheita de cana-de-açúcar e as propriedades do solo

A manutenção da palha sobre o solo na colheita de cana crua é fundamental para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (MIELNICZUK et al. 2003). Apesar disso, os estudos que abordam o efeito da longa duração de práticas conservacionistas de manejo sobre o estoque e, principalmente, sobre a qualidade da matéria orgânica são relativamente escassos nas áreas tropicais.

Segundo CERRI et al. (2007), os poucos artigos que relatam os efeitos da preservação dos restos de colheita dos canaviais mostram que o sistema de colheita mecanizado (sem queima) favorece o acúmulo de matéria orgânica (MENDONZA et al. 2000) mediante o retorno ao solo de resíduos da cultura que antes eram queimados (BAYER et al. 2000), além de reduzir a emissão de gases (CO_2 , CH_4) (PANOSSO et al. 2011), em comparação com o sistema de produção com a queima do palhicho. Além dos teores de matéria orgânica, CANELLAS et al. (2003) observaram alterações no processo de humificação, que incluíram acúmulo de ácidos húmicos nas áreas de preservação do palhicho. Os resultados encontrados por CANELLAS et al. (2007) indicaram maior grau de humificação na área de preservação da palhada e de adubação orgânica com vinhaça em relação à área com queima do canavial. O acúmulo de material orgânico no solo é uma prática de controle da erosão, por proteger o solo contra a chuva, além de evitar o aquecimento excessivo do solo pela ação direta dos raios solares, promovendo temperatura e umidade favoráveis ao desenvolvimento microbológico e à manutenção da matéria orgânica do solo (TAVARES et al. 2010).

Diversos trabalhos relataram melhoria na fertilidade do solo com a adoção de práticas de manejo que beneficiam o acúmulo e a manutenção da matéria orgânica do solo (CANELLAS et al. 2003; TOKURA et al. 2002). A preservação deste componente é fundamental para manter a capacidade produtiva em ambientes tropicais, uma vez que é fonte importante de nutrientes, tais como N, S e P, às culturas. MENDONZA et al. (2000), estudando atributos do solo em sistemas de colheita de cana crua e queimada, descrevem que o fator que mais influenciou nas variações das propriedades químicas

foi a matéria orgânica, que é adicionada em maior quantidade no sistema sem a queima da palhada.

Já para outros autores a deposição de resíduos após a queima do canavial possibilita a imediata liberação de nutrientes minerais (Mg, Ca e P) sobre a superfície do solo, melhorando mais rapidamente a qualidade química da área (MCCOOL et al. 2008). MENDONZA et al. (2000) encontraram maiores teores de K e P em áreas com cana queimada quando comparadas com áreas de cana crua nas profundidades 0-10 cm e 10-30 cm em solos de tabuleiro na região de Linhares (ES). O mesmo autor coloca que a queima da palhada, embora tenha elevado os teores de P e K, pode, a longo prazo, diminuir a fertilidade do solo, uma vez que as cinzas, em grande parte, são susceptíveis a perdas pela lixiviação e/ou erosão (SANZONOWICZ 1986), principalmente em solos com predomínio de argila de baixa atividade.

Além dos atributos químicos, o tipo de colheita de cana-de-açúcar tem provocado alterações nos atributos físicos do solo, não somente pelo acúmulo de material vegetal, mas também pela passagem de máquinas pesadas que alteram a qualidade física do solo. Aumentos na concentração de macroagregados estáveis em água, devido à supressão da queima do canavial, foram registrados por CEDDIA et al. (1999), e SOUZA et al. (2005). Outros estudos encontraram correlação positiva entre concentrações da matéria orgânica no solo e a estabilidade de macroagregados (CERRI et al. 1991; BLAIR 2000; GRAHAM et al. 2002). VASCONCELOS (2002), estudando o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de soqueiras de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita, crua mecanizada e queimada manual, verificou que a alteração do sistema de colheita da cana queimada manual para cana crua mecanizada reduz a amplitude térmica do solo e aumenta o teor de água e de matéria orgânica no solo.

Adversamente aos efeitos benéficos, alguns trabalhos demonstraram que o uso de máquinas na colheita da cana-de-açúcar sem a queima ocasionou compactação do solo (BRAUNACK & PEATEY 1999; SOUZA et al. 2005). A compactação pode trazer conseqüências negativas na agregação e porosidade, prejudicando a infiltração e retenção de água do solo (BALL-COELHO et al. 1993; CEDDIA et al. 1999). Desta

forma, SOUZA et al. (2005) propõem a utilização de uma forma intermediária de manejo da cana crua mediante o uso de implementos que realizem a incorporação parcial da palhada, uma vez que estes melhoram as condições físicas do solo e aumentam o potencial produtivo da cana-de-açúcar. Comparando os sistemas de cana queimada e cana crua com e sem incorporação da palhada, SOUZA et al. (2005) encontraram maior produção de colmos, maiores teores de matéria orgânica, maior estabilidade de agregados, maior macroporosidade, maior teor de água e menores valores de resistência do solo à penetração e densidade do solo, na área de cana crua com incorporação quando comparada com os demais sistemas estudados.

1.3. Efeito dos sistemas de colheita de cana-de-açúcar nos óxidos de ferro e na adsorção de fósforo

A grande quantidade de material vegetal que recobre os solos cultivados com cana-de-açúcar em áreas com colheita de cana crua tem proporcionado novas condições pedoambientais que incluem, em geral, incremento de matéria orgânica, aumento da umidade e do tempo de permanência da água, além da diminuição da temperatura do solo (SALTON & MIELNICZUK, 1995; COSTA et al. 2003). De acordo com SILVA NETO et al. (2008) essas mudanças indicam tendência de estabelecimento de um novo equilíbrio dinâmico do sistema solo, diante das alterações mineralógicas graduais que podem ocorrer (KARATHANASIS & WELLS, 1989). Porém pequeno é o conhecimento sobre a influência destas condições pedoambientais na mineralogia de solos que anteriormente eram manejados com o cultivo convencional que eliminava a cobertura do solo.

Os óxidos de ferro pedogênicos são importantes indicadores pedoambientais e de processos pedogenéticos. Tanto a formação como a estabilidade dos vários tipos de minerais desse grupo são condicionadas pelo pedoambiente (SCHWERTMANN & TAYLOR, 1989). A diversidade pedoambiental condiciona também variações nas características mineralógicas dos óxidos de ferro, tais como: grau de cristalinidade e substituição por Al^{3+} na estrutura cristalina, as quais refletem pedoambientes

específicos de formação (SCHWERTMANN 1988; FITZPATRICK & SCHWERTMANN 1982).

Nas últimas décadas, diversos estudos têm relacionado os óxidos de ferro com os diferentes fatores ambientais e processos pedogenéticos, constituindo uma das abordagens utilizadas no estudo destes minerais (SCHWERTMANN & TAYLOR, 1989; KÄMPF & CURI, 2000). Em solos altamente intemperizados de regiões tropicais e subtropicais, notadamente os Latossolos, goethita e hematita são os óxidos de ferro dominantes e relacionados com a evolução desses solos (FONTES & WEED, 1991; MUGGLER, 1998).

SILVA NETO et al. (2008) argumentaram que aumentos no teor de matéria orgânica, umidade e atividade microbiana favorecem os principais mecanismos de dissolução e remobilização dos óxidos de Fe no ambiente pedogênico, os quais incluem reações de redução e de complexação (SCHWERTMANN, 1991), cuja intensidade é dependente das condições meteorológicas, principalmente chuva e temperatura. Desta forma a remobilização de óxidos de Fe pedogênicos ou a depleção destes podem resultar em modificações no comportamento do solo, sobretudo daqueles que possuem elevados teores desses minerais, devido à importância que desempenham nas propriedades químicas e físicas do solo (SCHWERTMANN & TAYLOR, 1989; BIGHAM et al., 2002).

Estudos têm relacionado a capacidade de adsorção de fósforo dos solos com o teor de argila e superfície específica (LEAL & VELLOSO, 1973; JUO & FOX, 1977); porém, segundo BAHIA FILHO (1982) e KER (1995), pouca ênfase tem sido dada ao conhecimento da natureza da fração argila e da composição mineralógica na capacidade de adsorção de fósforo. O papel desempenhado pela matéria orgânica é ambivalente, já que ela tanto pode adsorver o fósforo como também bloquear os sítios de adsorção que ocorrem nas superfícies das argilas e dos óxidos de ferro e alumínio (SANYAL & DE DATTA, 1991). Quanto à mineralogia e características de cristalinidade dos óxidos de ferro, vários estudos têm mostrado que a capacidade de adsorção de fósforo parece estar relacionada com a área superficial do óxido (FONTES & WEED, 1996) e com o seu grau de cristalinidade. HERNÁNDEZ & MEURER (1998), estudando

solos do Uruguai, verificaram que a adsorção de fósforo apresentou correlação positiva com as formas de ferro de baixa cristalinidade (Feo), sugerindo que tal variável pode ser utilizada para estimar a adsorção de P.

ROLIM NETO et al. (2004), estudando Latossolos com textura e filiação geológica variáveis, desde alcalino-básicas até ultrabásicas, concluíram que a percentagem e a área superficial da goethita tiveram participação no aumento da adsorção de fosfato. SILVA NETO (2006) encontrou maior valor para capacidade máxima de adsorção de fósforo em áreas de cana queimada quando comparadas com cana crua e descreve que estes resultados reforçam as diferenças verificadas nas dinâmicas dos óxidos de ferro pedogênicos e nas diferenças da qualidade da matéria orgânica do solo encontrados para os dois sistemas de colheita avaliados.

1.4. Variabilidade e correlação espacial dos atributos dos solos

Vários trabalhos demonstram que os sistemas conservacionistas de manejo criam no solo um ambiente diferente do encontrado no sistema convencional. A variabilidade espacial dos índices de fertilidade do solo aumenta com a adoção do sistema plantio direto, tanto no sentido vertical quanto no horizontal (ELTZ et al., 1989; SOUZA, 1992; AMARAL & ANGHINONI, 2001). Nesse sistema, o acúmulo e a qualidade dos diferentes materiais de cobertura produzidos nos vários sistemas de sucessão e rotação de culturas adotadas, o não revolvimento do solo e as freqüentes adubações e calagens em superfície e nas linhas de cultivo formam um gradiente de concentração superficial de matéria orgânica e nutriente, aumentando tanto a variabilidade vertical quanto a horizontal (MUZILLI, 1983; ELTZ et al., 1989; KLEPKER & ANGHINONI, 1995). A variabilidade do solo também é uma consequência de complexas interações dos fatores e processos de sua formação, podendo variar de acordo com as culturas e seu manejo. Áreas pedologicamente similares podem apresentar diferença na variabilidade quando submetidas a diferentes práticas de colheita (ZANÃO JÚNIOR et al., 2010).

Análises estatísticas clássicas que consideram a independência entre as amostras, baseadas na média, vem sendo substituídas por análises geoestatísticas fundamentadas na teoria das variáveis regionalizadas (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989), por intermédio do semivariograma e da dependência espacial. O estudo da variabilidade espacial por meio da geoestatística possibilita a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos avaliados, considerando a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem (VIEIRA, 2000). A definição da variabilidade espacial de atributos do solo pode possibilitar o melhor controle dos fatores de produção das culturas (SOUZA et al. 2010).

O estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos dos solos é particularmente importante em áreas onde o solo está submetido a diferentes manejos (CARVALHO et al., 2002), pois a análise geoestatística pode indicar alternativas não só para reduzir os efeitos da variabilidade na produção das culturas (TRANGMAR et al., 1985; BHATTI et al., 1991), como também para aumentar a possibilidade de se estimarem respostas de atributos químicos do solo em função de determinadas práticas de manejo (OVALLES & REY, 1994; SILVEIRA et al., 2000). Além disso, a estratégia de amostragem do solo pode ser melhorada com a incorporação de um modelo de variabilidade espacial (WILDING & DREES, 1983). De acordo com CAVALCANTE et al. (2007), o conhecimento da variabilidade dos atributos do solo sob diferentes usos e manejos constitui-se numa importante meta para que se possa empregar manejo mais adequado, considerando a aplicação de fertilizantes, estratégias de amostragem e planejamento de delineamento de pesquisa em campo.

Com base nos valores encontrados no semivariograma é possível a utilização de métodos de interpolação, como krigagem, inverso da distância ponderada e outros, para a geração dos mapas (SCHLOEDER et al., 2001).

Portanto, em estudos agronômicos do sistema solo-água-planta deve-se considerar a variabilidade dos solos, pois os fatores e processos de sua formação que atuaram ao longo do tempo imprimiram-lhe variabilidades naturais; estas, somadas ao manejo realizado pelo homem, acentuam a variabilidade dos atributos do solo (CAVALCANTE et al., 2007).

A partir do conhecimento da variabilidade espacial de propriedades do solo, é possível descrever a correlação espacial entre essas variáveis, denominada correlação cruzada. Esta correlação é obtida por meio do semivariograma cruzado e do ajuste de um modelo matemático que descreve a sua estrutura de variação (TRANGMAR et al., 1985; WEBSTER, 1985; MCBRATNEY & WEBSTER, 1986; ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989). A correlação espacial tem sido utilizada em estudos relacionando a infiltração de água no solo e a espessura do horizonte A (BERTOLANI & VIEIRA, 2001), o conteúdo de água e a textura do solo (VAUCLIN et al., 1983), a produção de biomassa e a produtividade de grãos (MILLER et al., 1988). RACHID JUNIOR et al. (2006) encontraram entre a produtividade da soja e o teor de magnésio trocável moderada correlação espacial com raio diretamente proporcional (patamar positivo) de 106,30 m. ANGELICO (2006) concluiu que a construção do semivariograma cruzado e a posterior elaboração do mapa de co-krigagem possibilitaram realizar a estimativa do pH e do Mn eficientemente, usando, como covariável, o teor de MO.

Desta forma o estabelecimento desta nova realidade de colheita de cana-de-açúcar presente no cenário agrícola brasileiro, pode acarretar alterações nos atributos do solo inclusive naqueles considerados estáveis como é o caso da cristalografia e dos teores de óxido de ferro. Portanto é fundamental melhor conhecer o comportamento dos atributos do solo submetidos a esta nova condição de colheita onde grande quantidade de material orgânico é deixada sobre o solo, para que se consiga desta forma melhor adequar às práticas de manejo a serem adotados, tanto do ponto de vista químico como físico do solo.

1.5. Hipótese

As mudanças no sistema de colheita de cana queimada para o sistema de cana crua, com o qual ocorre a passagem da colhedora e não ocorre a queima do canavial, provocam um acúmulo de palha sobre o solo, criando no pedoambiente condições que pode afetar as propriedades químicas, físicas e mineralógicas dos solos.

1.6. Objetivos

Os principais objetivos do trabalho foram: 1) caracterizar as variações dos atributos químicos, físicos e mineralógicos do solo submetidos a dois diferentes tipos de colheita de cana-de-açúcar; 2) determinar a variabilidade espacial dos atributos do solo em áreas de colheita de cana crua e de cana queimada

CAPÍTULO 2 – EFEITOS DOS SISTEMAS DE COLHEITA DE CANA-DE-AÇÚCAR NOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO NA REGIÃO DE RIBEIRÃO PRETO-SP

RESUMO – A cana-de-açúcar é uma das culturas mais importantes do cenário agrícola brasileiro e vem passando por um processo de transformação de seu sistema de colheita manual (com a queima do canavial) para um sistema de colheita mecânica (sem queima do canavial), o que tem acarretado alterações nas propriedades químicas e físicas do solo. O presente trabalho teve como objetivo estudar os efeitos dos sistemas de colheita, com e sem queima da palha, nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. Duas parcelas de aproximadamente um hectare cada foram delimitadas em áreas com cana crua e cana queimada. Foram retiradas, em cada área, amostras de solos em 126 pontos, nas profundidades de solo de 0,0-0,25 e 0,25-0,50 m. As amostras foram submetidas às análises químicas e físicas, destacando-se as análises para determinação do grau de humificação da matéria orgânica do solo. Os resultados das análises químicas e físicas foram submetidos às análises da estatística descritiva com teste de comparação de médias. A manutenção da palha sobre o solo proporcionou melhoria nos atributos físicos do solo e na qualidade da matéria orgânica enquanto que a área de cana queimada apresentou melhor fertilidade do solo em relação ao sistema de cana crua em ambas as profundidades avaliadas.

Palavras-chave: cana crua, cana queimada, manejo do solo

2.1. Introdução

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) e o maior exportador mundial de etanol. A lavoura de cana-de-açúcar continua em expansão no Brasil e a área de cana-de-açúcar destinada à atividade sucroalcooleira está estimada

em 8,2 milhões de hectares, distribuídos em vários estados produtores. O Estado de São Paulo é o maior produtor, responsável por 54% do total. A previsão para a safra que será moída em 2010/11 é de 651 milhões de toneladas, com incremento de 7,8% em relação à safra 2009/10, o que significa 47 milhões de toneladas a mais para moagem nesta safra (CONAB, 2010).

Atualmente, a canavicultura está em fase de transição da colheita da cana queimada para a cana colhida sem queima prévia (cana crua). A evolução do sistema é obrigatória e irreversível em todo o Brasil, em função de leis federais e estaduais que regulamentam o fim das queimadas (CAMPOS et al., 2008). Essa transição do sistema de colheita com o uso do fogo para a colheita da cana crua impõe aos produtores mudanças em seus sistemas de produção, que envolvem a introdução da colheita mecanizada. Estima-se que este sistema possa adicionar entre 13 e 20 t/ha/ano de palha sobre o solo (CHRISTOFFOLETI et al., 2007), sendo que grande parte é mineralizada no local da deposição e incorporada ao solo. Há previsões de que até 2014 ocorra o fim das queimadas nos canaviais do Estado de São Paulo (CAMPOS et al., 2010).

Neste sentido, o tipo de colheita utilizado pode influenciar a produção (CAMPOS et al., 2010; TAVARES et al., 2010) e a longevidade da cultura, acarretar modificações nos atributos físicos (SOUZA et al., 2005; ROQUE et al., 2010), químicos e biológicos do solo (MENDONZA et al., 2000; CANELLAS et al., 2007), além de interferir no meio ambiente e na saúde pública.

A colheita mecânica de cana crua deixa sobre o solo espessa camada de palha (CERRI et al., 2007), sobre a qual são realizadas as etapas do manejo cultural, como a aplicação de corretivos e adubos, as quais devem ser específicas para cada tipo de colheita. Segundo CERRI et al. (2007) e CANELLAS et al. (2007), os poucos artigos que relatam os efeitos da preservação da palha nos canaviais mostram que o sistema de colheita mecanizado favorece mudanças significativas no processo de humificação e na qualidade da matéria orgânica do solo, além de reduzir a emissão de gases (CO₂, CH₄), em comparação com o sistema de cana queimada (PANOSSO et al., 2011).

Neste sentido, a prática da colheita mecanizada tem provocado várias alterações não somente na qualidade da matéria orgânica (DEICOW et al., 2009; BAUER et al., 2006), mas também nos atributos químicos do solo como a CTC e os teores de nutrientes. CANELLAS et al. (2003) encontraram um aumento nos teores de macro e micronutrientes na área de cana crua em comparação com o sistema de colheita de cana queimada. Porém, MENDONZA et al. (2000), comparando os efeitos dos sistemas de cana crua e cana queimada nas propriedades químicas em um Argissolo, no município de Linhares, ES, observaram que os teores de P foram maiores na cana queimada na profundidade de 0,0-0,10 m. De acordo com MCCOOL et al. (2008), a deposição dos resíduos após a operação de queima do canavial sobre a superfície do solo ajuda na fertilização do solo, isso devido à imediata liberação de nutrientes minerais (Mg, Ca e P) anteriormente imobilizados pela cultura.

Vários autores têm demonstrado em seus estudos que os sistemas de colheita de cana-de-açúcar têm afetado as propriedades físicas do solo (TAVARES FILHO et al., 2010; SILVA & CABEDA, 2006; PAULINO et al., 2004). CEDDIA et al. (1999) constataram, comparativamente, aumento na densidade do solo em sistema de colheita de cana queimada e maior porcentagem de poros totais na camada de 0,0-0,20 m em sistema de colheita de cana crua. LAL (2009) afirma que a adoção de sistemas com a manutenção de resíduos na superfície, como o sistema de cana crua em solos tropicais, é fundamental para a redução da degradação do solo e preservação do meio ambiente.

Adversamente aos efeitos benéficos, alguns trabalhos demonstraram que o uso de máquinas na colheita da cana-de-açúcar sem a queima ocasionou compactação do solo (LUCA et al., 2008; BRAUNACK & PEATEY, 1999). SOUZA et al. (2005), estudando diferentes tipos de colheita e manejo da palhada, encontraram para o sistema com cana crua sem incorporação da palha os menores valores de macroporosidade do solo, em todas as profundidades, inclusive com valores abaixo do considerado como crítico para o bom desenvolvimento radicular da cultura da cana-de-açúcar proposto por GUPTA & ALLMARAS (1987).

Neste contexto, devido às grandes mudanças no sistema de colheita de cana-de-açúcar e à variação dos resultados encontrados, alguns autores (SOUZA et al., 2005;

CAMILOTTI et al., 2005) têm sugerido intensificar os estudos das propriedades físicas do solo levando em consideração o sistema de colheita adotado.

Desta forma a colheita de cana-de-açúcar deixando de ser realizada com a queima do canavial e passando a ser colhida com preservação da palha tem provocado modificações nas propriedades do solo. Portanto o presente trabalho teve por objetivo estudar os efeitos dos sistemas de colheita, com e sem a queima da palha, nas propriedades físicas e químicas de Latossolos cultivados com cana-de-açúcar.

2.2. Material e Métodos

As áreas de estudo localizam-se no nordeste do Estado de São Paulo, no Município de Guariba na Fazenda São Bento, uma unidade experimental da Usina São Martinho. As coordenadas geográficas são 21º 24' de latitude sul e 48º 09' de longitude oeste, com altitude média de 550 m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical com chuvas de verão (Aw), com precipitação média de 1400 mm, com chuvas concentradas no período de novembro a fevereiro. A vegetação natural era constituída por floresta tropical subcaducifólia.

Esta área está inserida na província geomorfológica do Planalto Ocidental Paulista, próximo ao limite das Cuestas Basálticas no divisor litoestratigráfico arenito – basáltico (área limítrofe entre o Basalto do Grupo São Bento, Formação Serra Geral e o Arenito do Grupo Bauru, Formação Adamantina). O solo da área segundo a classificação proposta pela EMBRAPA 2006 é um Latossolo Vermelho Eutroférico, textura muito argilosa (LVef) cultivado com cana-de-açúcar por mais de 30 anos.

Duas áreas foram escolhidas, sendo uma em sistema de colheita de cana queimada e manual por 30 anos e outra em sistema de colheita de cana crua com máquina por 7 anos (Figura 1). Os canaviais instalados nas áreas foram renovados no ano de 2006 sendo que a coleta das amostras para análises químicas e físicas foi realizada logo após o primeiro corte em junho de 2007. Por ocasião da renovação do canavial foi realizada uma operação de subsolagem e a erradicação química da

soqueira. Logo após foram aplicadas 2 t ha^{-1} de calcário dolomítico e 1 t ha^{-1} de gesso agrícola para correção do solo em área total sem incorporação dos mesmos. A adubação de plantio foi realizada na sulcação sendo utilizado 500 kg ha^{-1} da fórmula 10-25-25 e o plantio realizado de forma manual. Em ambas as áreas foi aplicado em soqueira, ao longo dos anos, 100 m^{-3} de vinhaça, 300 kg ha^{-1} de uréia na cana queimada e 200 kg ha^{-1} de nitrato de amônia na cana crua. Na cana queimada o adubo nitrogenado é incorporado a aproximadamente 20 cm de profundidade enquanto que na área de cana crua a aplicação é realizada superficialmente ao lado da linha de plantio.

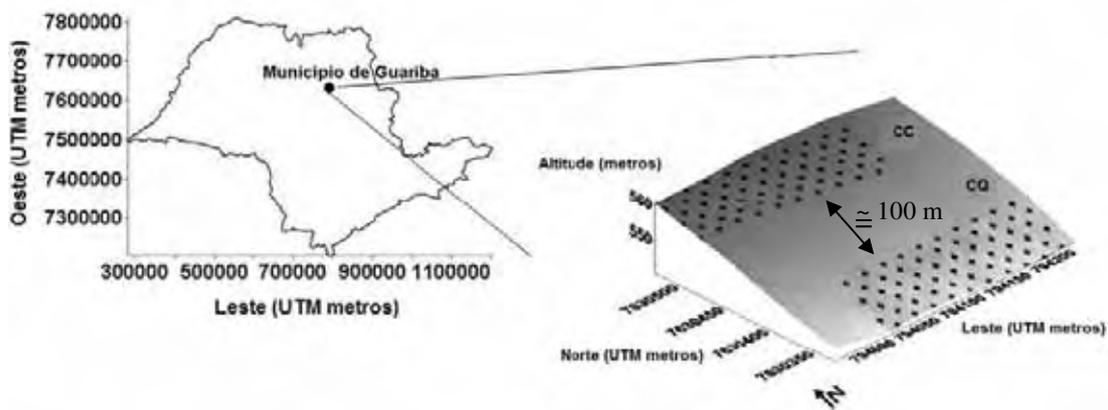


Figura 1. Localização da área e modelo digital de elevação (MDE); área com sistema de colheita de cana crua (CC) e área com sistema de colheita de cana queimada (CQ).

Os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento das malhas georreferenciadas, com intervalos regulares de 10 metros, com dimensão de 200×50 metros, totalizando 126 pontos, nas áreas de aproximadamente 1 ha cada. Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0,0-0,25 e 0,25-0,50 m para realização das análises químicas e físicas e para a determinação do teor de argila. O teor de argila foi determinado pela metodologia proposta pela EMBRAPA (1997), empregando-se $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ como dispersante químico e agitação mecânica de baixa rotação, por 16 horas. Foram determinados o teor de matéria orgânica (MO), e o teores de K, Ca, Mg e $\text{H} + \text{Al}$ (RAIJ, 2001). A soma de bases (SB), a capacidade de

troca de cátions do solo (CTC) e o V% foram calculados a partir dos valores das bases e H+Al.

Foram escolhidos em cada área 20 pontos na profundidade de 0,0-0,25 m nos quais foi determinado o grau de humificação da matéria orgânica segundo a metodologia proposta por MILORI et al., (2006). Foram preparadas duas pastilhas por amostra de solo com dimensões de 10 mm de diâmetro e 2 mm de espessura. As pastilhas, com massa de aproximadamente 0,5 g, foram produzidas por meio de uma prensa hidráulica, aplicando-se uma carga de 12 toneladas, durante 3 minutos. A espectroscopia de emissão óptica com plasma induzido por laser (LIBS) é uma técnica analítica avançada para análise elementar semiquantitativa, baseada na medida da emissão de espécies excitadas em um plasma produzido por um laser. A técnica de fluorescência induzida por laser (LIFS) tem como princípio básico a excitação das amostras do solo com um laser de emissão, na região do ultravioleta/azul, resultando na fluorescência de grupos funcionais da matéria orgânica, relacionados com o processo de humificação. Essa fluorescência ocorre na região do visível com pico em aproximadamente 510 nm. A fluorescência total (área sob a curva) correlaciona-se aos teores de carbono do solo e, quando ponderada a partir dos teores de C orgânico da amostra (obtidos pelo LIBS), traz informações a respeito do grau de humificação da matéria orgânica.

Para a determinação dos atributos densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total foram coletadas amostras indeformadas com anéis volumétricos e utilizada a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). Para a obtenção do DMP também foi utilizada a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). Foi realizada análise estatística calculando-se média, máximo, mínimo e coeficiente de variação dos dados. Fez-se ainda o teste de Tukey a 5% para comparação das médias das duas áreas.

2.3. Resultados e Discussão

Na Tabela 1 estão apresentadas as estatísticas referentes aos resultados encontrados para o teor e a qualidade da matéria orgânica, além dos teores de argila nos dois sistemas de colheita estudados. Percebe-se que, ao contrário do que alguns autores têm encontrado (MENDONZA et al., 2000; CANELLAS et al., 2007), os teores de matéria orgânica apresentaram similaridade para os dois sistemas; porém, quando se avalia a qualidade desta matéria orgânica pelo grau de humificação (Tabela 1 e Figura 2), constata-se que os valores destes são expressivamente maiores na área com cana crua.

Tabela 1. Valores médios, máximos, mínimos e coeficiente de variação para os atributos H_{LIFS} (20 pontos), M.O. e argila (126 pontos) na profundidade de 0,0-0,25 m nos dois sistemas de colheita estudados.

Atributo		Sistema de Colheita	Média	Mínimo	Máximo	CV(%)
0,0-0,25 m						
M.O	g dm ⁻³	CC	24a	15	34	3,5
		CQ	25a	16	34	2,7
H _{LIFS}		CC	231a	198	280	9,0
		CQ	180b	158	204	8,0
Argila	g kg ⁻¹	CC	637a	580	690	3,2
		CQ	613b	560	660	3,4

M.O. – matéria orgânica; H_{LIFS} – grau de humificação da matéria orgânica.

Observando-se a Figura 2, percebe-se que o grau de humificação foi maior para cana crua na maioria dos pontos medidos. DIECKOW et al. (2009) observaram níveis de humificação diferentes de matéria orgânica comparando solos de mata nativa, cultivo convencional e plantio direto no sul do Brasil. MENDONZA et al. (2000) concluíram que a manutenção da palhada na superfície proporcionou um aumento nos teores da fração humificada na matéria orgânica do solo, alterando assim as propriedades físicas e químicas do solo. Na Tabela 1 observa-se através dos valores de máximo e mínimo, que o menor valor de grau de humificação encontrado na área de cana crua está muito

próximo ao maior valor encontrado para este atributo na área de cana queimada o que demonstra a grande diferença de humificação nas duas áreas.

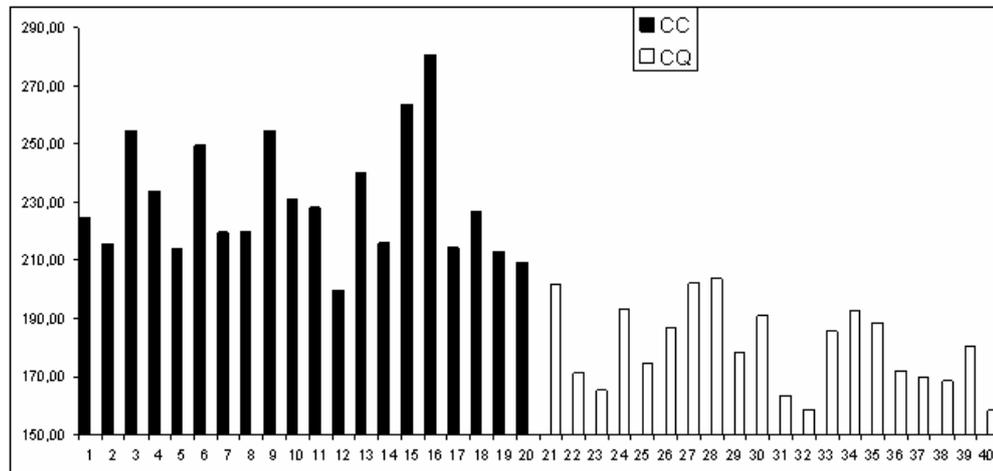


Figura 2. Valores de grau de humificação encontrados para os 20 pontos escolhidos nas áreas de cana crua (1 a 20) e cana queimada (21 a 40)

CANELLAS et al. (2003) descrevem em seu trabalho alguns benefícios ambientais e econômicos nos sistemas com maior aporte de matéria orgânica, como nos de cana crua, entre eles a reciclagem de nutrientes, a diminuição da emissão de gases e da fuligem e a eliminação das perdas de nutrientes, perdas estas atribuídas à queima da palhada da cana-de-açúcar por ocasião da colheita. RESENDE et al. (2006) também mencionam a importância da conservação da camada de palha para evitar as perdas de solo pelo processo de erosão. Estes resultados estão de acordo com os menores teores de argila encontrados na área de cana queimada, o que pode ser uma evidência da perda da argila pelo não recobrimento do solo com palha. ARE et al. (2009) encontraram uma diminuição significativa no teor de argila do solo, em áreas com queima do canavial, e atribuíram a diferença à não proteção do solo com cobertura vegetal.

Os teores de nutrientes do solo foram, no geral, maiores na área de cana queimada em relação à cana crua (Tabela 2). Os teores de K e P foram maiores na área de cana queimada nas duas profundidades, provavelmente devido à mais rápida

mineralização da matéria orgânica pela queima, o que proporciona uma maior liberação destes íons para o solo.

Tabela 2. Valores médios, máximos, mínimos e coeficiente de variação para os atributos químicos em 126 pontos nas profundidades de 0,0-25 e 0,25-0,50 m nos dois sistemas de colheita estudados.

Atributo		Sistema de Colheita	Média	Mínimo	Máximo	CV(%)
0,0-0,25 m						
P disponível	mg dm ⁻³	CC	36b	22	52	16,2
		CQ	67a	17	143	51,6
K	mmolc dm ⁻³	CC	1,4b	0,4	3,2	47,5
		CQ	3,2a	0,5	6,5	37,7
Ca	mmolc dm ⁻³	CC	28b	11	45	26,0
		CQ	43a	23	59	16,6
pH		CC	4,9b	4,3	5,5	5,0
		CQ	5,3a	4,7	6,0	4,7
SB	mmolc dm ⁻³	CC	37,7b	15,0	64,0	25,6
		CQ	55,7a	30,0	84,0	16,7
CTC	mmolc dm ⁻³	CC	75,4b	57,0	94,0	11,2
		CQ	86,1a	53,0	115,0	11,1
V	%	CC	50b	28	71	18,9
		CQ	65a	51	76	8,4
0,25-0,50 m						
P disponível	mg dm ⁻³	CC	23b	5	48	41,6
		CQ	55a	14	135	60,8
K	mmolc dm ⁻³	CC	1,1b	0,3	3,6	61,9
		CQ	2,5a	0,5	5,4	48,1
Ca	mmolc dm ⁻³	CC	24b	11	41	28,3
		CQ	42a	26	70	18,6
pH		CC	4,6b	3,7	5,5	7,9
		CQ	5,3a	4,6	5,9	4,8
SB	mmolc dm ⁻³	CC	31,2b	15,0	50,0	25,4
		CQ	53,0a	34	83	17,6
CTC	mmolc dm ⁻³	CC	67,2b	46,0	88,0	12,6
		CQ	82,3a	56,0	106,0	11,2
V	%	CC	46b	24	67	19,1
		CQ	64a	45	79	10,4

SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca de cátions; V – saturação por bases

MENDONZA et al. (2000) encontraram resultados semelhantes em seus estudos, porém ressaltaram que, apesar dos maiores teores de P e K, a queima do canavial pode, a longo prazo, diminuir a fertilidade do solo, uma vez que as cinzas, em grande

parte, são susceptíveis a perdas por lixiviação e/ou erosão, principalmente em solos com predomínio de argila de baixa atividade. Adversamente, CANELLAS et al. (2003) e BUSATO et al. (2005) encontraram maiores valores de P em áreas de cana crua e atribuíram a diferença ao retorno das formas de fósforo acumuladas na biomassa vegetal.

Os valores de Ca e pH também foram superiores para cana queimada em ambas as profundidades (Tabela 2). MENDONZA et al. (2000) e CANELLAS et al. (2003) não encontraram diferença significativa para estes atributos quando compararam áreas de cana crua e queimada. Quando se compara a fertilidade do solo de áreas com cana crua e cana queimada é importante investigar a forma como o adubo foi aplicado no solo. Para a cana crua, a aplicação superficial sem incorporação do adubo encontra uma barreira física (palha) para chegar até o solo. No sistema de cana queimada o contato com o solo é mais rápido, o que proporciona maior velocidade de reação com a solução do solo e, conseqüentemente, uma maior e mais rápida disponibilidade de nutriente.

Além disso, no presente trabalho, a aplicação de gesso, calcário e vinhaça nas duas áreas foi realizada sempre em área total sem incorporação. Porém, na área de cana queimada, o adubo nitrogenado em soqueira foi aplicado com recobrimento do solo ao lado da linha de plantio. Assim, este procedimento incorporou não só o adubo nitrogenado, mas também o gesso, o calcário e a vinhaça presentes na camada superficial, acarretando os maiores valores de Ca e K encontrados na área de cana queimada em ambas as profundidades estudadas (Tabela 2). SCHULTZ et al. (2010), comparando doses de adubação de N e vinhaça incorporados ou não ao solo, concluíram que os melhores rendimentos de colmos frescos foram para os tratamentos com incorporação ao solo.

Para os atributos SB, CTC e V%, os maiores valores encontrados foram na área de cana queimada para as duas profundidades estudadas (Tabela 2), confirmando a melhor fertilidade do solo nesta área. MENDONZA et al. (2000) não encontraram diferença significativa para a SB e para V% comparando os dois sistemas de colheita de cana, enquanto que CANELLAS et al. (2003) encontraram os maiores valores de

CTC para áreas de cana crua. Os maiores valores de V% encontrados para cana queimada são consequência do maior teor de bases e maior valor de pH, sendo que estes atributos podem aumentar a disponibilidade de fósforo, confirmando os resultados apresentados na Tabela 2.

Observando-se os valores de coeficiente de variação apresentados na Tabela 2 percebe-se que para todos os atributos químicos o CV foi maior na área de cana crua demonstrando a maior variação de resultados encontrados nesta área em relação à cana queimada. Possivelmente isto ocorra devido à preservação da palha sobre a superfície do solo que atua como uma barreira física impedindo que o adubo chegue ao solo em alguns locais ocasionando maior variação de dados.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da estatística descritiva com as diferenças significativas para as médias dos atributos físicos estudados. A análise da estabilidade dos agregados apresentou o diâmetro médio ponderado (DMP) superior na cana crua quando comparado à cana queimada, para a profundidade de 0,0-0,25 m, e DMP não significativo para a profundidade 0,25-0,50 m. CEDDIA et al. (1999), em áreas de argissolos amarelos, verificaram maior DMP para cana crua em relação à cana queimada, na profundidade de 0,0–0,05 m, diferença esta que os autores atribuíram ao efeito do sistema de colheita. Maior DMP na cana crua com e sem incorporação da palhada foi encontrado por SOUZA et al. (2005) estudando Latossolos de textura média em comparação com a cana queimada. Porém ROQUE et al. (2010), comparando os dois sistemas de colheita em Latossolos argilosos, não encontraram diferença significativa para o DMP. LUCA et al. (2008) citaram que quanto maior o teor de argila maior a quantidade de matéria orgânica necessária para influenciar a estabilidade dos agregados, o que reforça a importância dos resultados encontrados, uma vez que o presente trabalho foi conduzido em Latossolos muito argilosos (Tabela 3).

A densidade do solo foi superior para o sistema de cana queimada nas duas profundidades, porém apresentou diferença significativa apenas na profundidade de 0,0-0,25 m. Resultados semelhantes foram encontrados por CEDDIA et al. (1999).

Tabela 3. Valores médios, máximos, mínimos e coeficiente de variação para os atributos físicos em 126 pontos nas profundidades de 0,0-0,25 e 0,25-0,50 m nos dois sistemas de colheita estudados

Atributo		Sistema de Colheita	Média	Mínimo	Máximo	CV(%)
0-25 cm						
Ds	g cm ⁻³	CC	1,29b	1,14	1,42	5,0
		CQ	1,35a	1,01	1,55	9,8
Macro	%	CC	14a	6	26	30,5
		CQ	11b	4	27	50,17
Micro	%	CC	37a	30	41	6,1
		CQ	36a	28	44	7,5
VTP	%	CC	50a	43	58	6,2
		CQ	47b	37	58	9,2
DMP	mm	CC	2,82a	2,02	2,59	12,2
		CQ	2,70b	1,05	3,72	21,1
25-50 cm						
Ds	g cm ⁻³	CC	1,29a	1,06	1,65	6,6
		CQ	1,32a	1,01	1,55	9,8
Macro	%	CC	14a	3	30	35,5
		CQ	11b	4	27	50,2
Micro	%	CC	36a	28	44	5,9
		CQ	36a	28	44	7,5
VTP	%	CC	49a	41	58	6,4
		CQ	46b	37	58	9,2
DMP	mm	CC	3,01a	1,84	3,83	13,3
		CQ	2,99a	1,79	3,74	14,6

CC – cana crua; CQ – cana queimada; Ds – densidade do solo; Macro – macroporosidade; Micro – microporosidade; VTP – volume total de poros; DMP – diâmetro médio ponderado.

Observando-se a Tabela 3, percebe-se que a macroporosidade e a porosidade total apresentaram os maiores valores na área de cana crua, de forma significativa para as duas profundidades. Já a microporosidade não apresentou diferenças entre os dois sistemas de colheita avaliados. Os valores de macroporosidade para as duas profundidades na área de cana queimada são de 11%, sendo que o mínimo valor de porosidade de aeração necessário ao desenvolvimento do sistema radicular é de 10%, segundo GUPTA & ALLMARAS (1987). Os valores de macroporosidade encontrados para o sistema de cana crua também apresentaram-se próximos ao valor considerado como crítico, o que sugere possíveis dificuldades futuras para um adequado desenvolvimento radicular. SOUZA et al. (2005) encontraram valores de

macroporosidade ao redor de 8% para Latossolos de textura média com histórico de cana crua por vários anos. CARVALHO et al. (1991) afirmaram que a macroporosidade é o atributo físico mais afetado pelo cultivo contínuo de cana-de-açúcar.

Os valores mínimos de macroporosidade são 6 e 4 % para as áreas de cana crua e cana queimada respectivamente, o que demonstra que existem locais em ambas as áreas em que a macroporosidade está abaixo do valor considerado como crítico para o desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar. Por outro lado os valores máximos indicam que também existem nas áreas locais em que a macroporosidade está bem acima do valor crítico demonstrando a grande variação dos resultados encontrados para este atributo. Esta variação pode ser confirmada pelos valores de coeficiente de variação apresentados na Tabela 3 que são maiores para a macroporosidade do que para o restante dos atributos físicos estudados.

Comparando-se os dois sistemas de colheita estudados percebe-se que os maiores valores de CV para os atributos físicos foram encontrados para o sistema de cana queimada quando comparado com a área de cana crua. Esta diferença pode ser resultado do maior revolvimento do solo na área de cana queimada onde se incorpora o adubo nitrogenado aplicado em soqueira. Já na área de cana crua não ocorre o revolvimento do solo ao longo das soqueiras acarretando maior homogeneidade dos atributos físicos (Tabela 3).

É importante lembrar que os resultados físicos apresentados na Tabela 3 foram obtidos a partir de amostras coletadas logo após o primeiro corte, e que para a renovação do canavial foi realizada uma operação de subsolagem dos solos. Desta forma, ao longo dos vários cortes do canavial os valores podem sofrer alterações, principalmente devido ao grande tráfego de máquinas pesadas durante a colheita de cana crua, como constatado por TAVARES FILHO et al. (2010) e LUCA et al. (2008).

Apesar de a colheita de cana crua ser um sistema conservacionista e trazer vários benefícios para o solo e para o meio ambiente, é importante melhor entender o que este novo cenário pode proporcionar aos atributos do solo. Assim, pode-se adequar melhor as práticas de manejo como, por exemplo, a forma de aplicação de adubo e até mesmo a utilização ou não de operações de descompactação do solo.

2.4. Conclusões

O sistema de colheita de cana queimada proporcionou uma melhor fertilidade do solo em relação ao sistema de cana crua em ambas as profundidades avaliadas.

A adição e preservação da palhada em sistema de colheita de cana crua por um longo período proporcionaram melhoria na qualidade dos atributos físicos do solo e na qualidade da matéria orgânica, com aumento do conteúdo de substâncias húmicas.

CAPÍTULO 3 – MATÉRIA ORGÂNICA, ÓXIDOS DE FERRO E ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM LATOSSOLOS COM DIFERENTES SISTEMAS DE COLHEITA DE CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO – A cana-de-açúcar, devido a problemas sociais, ambientais e econômicos, vem sofrendo modificações no sistema de colheita, o que tem acarretado alterações nos mais variados atributos do solo, dentre eles a matéria orgânica e os óxidos de ferro, que por sua vez provocam alterações nos atributos químicos do solo como, por exemplo, a capacidade máxima de adsorção de fósforo. O presente trabalho tem como objetivo estudar as diferenças no teor e na qualidade da matéria orgânica e sua influência nos óxidos de ferro e na capacidade máxima de adsorção de fósforo em áreas com colheita de cana crua e queimada. Duas parcelas de aproximadamente um hectare foram delimitadas em áreas com cana crua e cana queimada. Foram retiradas, em cada área, amostras de solos em 126 pontos, na profundidade de 0,00-0,25 m. Os resultados das análises mineralógicas, químicas e físicas foram submetidos às análises da estatística descritiva com teste de comparação de médias. Os resultados também foram submetidos à análise estatística multivariada de agrupamentos e análise de componentes principais. A aplicação da estatística multivariada possibilitou a divisão de todos os atributos estudados em dois diferentes grupos de colheita (cana crua e cana queimada). O sistema de colheita de cana crua promoveu condições pedoambientais, que provocaram alterações na cristalografia dos óxidos de ferro, um aumento no grau de humificação da matéria orgânica e uma menor adsorção de fósforo nesta área em relação ao sistema de cana queimada.

Palavras-chave: cana crua, cana queimada, manejo do solo

3.1. Introdução

Atualmente a cultura da cana-de-açúcar vem crescendo, sendo que o Brasil já ocupa o primeiro lugar em produção e em área plantada (CONAB 2010). Além do crescimento, a cultura vem sofrendo modificações em seu sistema de produção, especialmente na colheita, que vem deixando de ser realizada de forma manual e com a queima do canavial (cana queimada) para ser colhida com máquina e sem a queima da cultura (cana crua) (CERRI et al., 2007). A passagem de máquinas pesadas, principalmente no momento da colheita, e a massa de palha que permanece no solo (13 a 20 t ha⁻¹) (SCHULTZ et. al., 2010) têm acarretado modificações nos atributos do solo (DEICOW et al., 2009), que por sua vez alteram as produtividades dos canaviais (CAMPOS et al., 2010; TAVARES et al., 2010).

O acúmulo de palha tem provocado mudanças nos teores e na qualidade da matéria orgânica do solo (CANELLAS et al., 2007; MENDONZA et al., 2000), sendo que estas têm provocado alterações em vários atributos do solo, inclusive naqueles considerados estáveis por longo tempo, como é o caso da mineralogia da fração argila (SILVA NETO et al., 2008; INDA JUNIOR & KÄMPF, 2005). Alguns autores têm demonstrado que a criação destas condições pedoambientais pode afetar a dinâmica dos óxidos de ferro (SINGH & GILKES, 1992; INDA JUNIOR & KÄMPF, 2005), indicando a tendência de se estabelecer um novo equilíbrio dinâmico no sistema solo, diante das alterações mineralógicas graduais (SILVA NETO et al., 2008). SCHWERTMANN & KÄMPF (1985) constataram que a dissolução de óxidos de Fe cristalinos (hematita e goethita) seguida da neoformação de formas de baixa cristalinidade (ferrihidrita) é um indicativo de um novo ambiente. SCHWERTMANN & CARLSON (1994), citados por CAMARGO et al. (2008a), relatam que a variação do DMC nos óxidos de Fe é devida às diferenças em seus ambientes de formação, à taxa de formação dos óxidos de Fe, aos inibidores de cristalização, como matéria orgânica e idade do mineral.

O teor e a cristalização mineralógica da fração argila de solos bem intemperizados, como é o caso dos Latossolos argilosos, são fundamentais na

caracterização de um solo (GHIDIN et al., 2006), principalmente em relação à maior ou menor capacidade de retenção de fósforo (ROLIM NETTO et al., 2004; BARBIERI et al., 2009). NOVAIS & SMYTH (1999), estudando Latossolos argilosos do cerrado brasileiro, demonstrou que este solo pode adsorver mais de 2 mg cm^{-3} de P, o que equivale a 4.000 kg ha^{-1} de P, ou seja, 9.200 kg ha^{-1} de P_2O_5 , incorporado a 0–20 cm de profundidade. A goethita apresenta-se como o óxido de maior responsabilidade pela adsorção de fósforo (MOTTA et al., 2002), sendo juntamente com a hematita os óxidos de ferro dominantes em Latossolos (INDA JUNIOR & KÄMPF, 2005).

Além disso, a adsorção do fósforo depende não apenas do teor e do tipo de cristalinidade dos óxidos de ferro, podendo também ser afetada pelo teor e qualidade da matéria orgânica, principalmente por esta competir com o íon fosfato pelos sítios de adsorção (HEREDIA & CIRELLI, 2007; MESQUITA FILHO & TORRENT, 1993). Em geral, os componentes orgânicos agem alterando as cargas positivas para negativas dos sítios ativos dos minerais de argilas e óxidos o que pode acarretar menor capacidade de adsorção de fósforo (VALLADARES et al., 2003).

O fósforo é um dos principais fatores limitantes ao desenvolvimento da cultura e longevidade do canavial, além de sua aplicação ser um grande investimento devido ao custo das fontes fosfáticas e às altas quantidades de fertilizantes fosfatados necessários para manter as produtividades das culturas em níveis economicamente sustentáveis (ROLIM NETTO et al., 2004; MOTTA et al., 2002).

Estas informações ressaltam a importância de se conhecer melhor as consequências desta nova realidade de colheita de cana-de-açúcar para as propriedades do solo, dentre elas a mineralogia da fração argila e suas interferências nos atributos químicos. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo estudar as diferenças no teor e na qualidade da matéria orgânica e sua influência nos óxidos de ferro e na capacidade máxima de adsorção de fósforo em áreas com colheita de cana crua e queimada.

3.2. Material e Métodos

As áreas em estudo estão localizadas na região de Ribeirão Preto interior do estado de São Paulo, pertencem à usina São Martinho e tem sido utilizada há mais de 20 anos com a cultura da cana-de-açúcar. As áreas estão posicionadas sob as seguintes coordenadas geográficas: 21° 24' de latitude sul e 48° 09' de longitude oeste, com altitude média de 550 m acima do nível do mar. O clima da região foi classificado, pelo método de Köppen, como tropical quente úmido, tipo Aw, seco no inverno, com precipitação anual média de 1.400 mm, temperatura média anual de 22°C. No verão, a temperatura máxima mensal é de cerca de 30° C com um índice pluviométrico superior a 200 mm de chuva mês⁻¹ e umidade relativa do ar em torno de 80%. Já o inverno apresenta uma temperatura mínima em torno de 13° C com precipitação média oscilando de 20 a 30 mm e umidade relativa do ar em cerca de 60%. A vegetação primária da região de Ribeirão Preto foi classificada como floresta tropical subcaducifólia.

As áreas estão posicionadas na província geomorfológica do Planalto Ocidental Paulista, próximo ao limite das Cuestas Basálticas no divisor litoestratigráfico arenito – basáltico (área limítrofe entre o Basalto do Grupo São Bento, Formação Serra Geral e o Arenito do Grupo Bauru, Formação Adamantina). O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico, textura muito argilosa (LVef) segundo a classificação proposta pela EMBRAPA 2006.

Uma área colhida em sistema de cana queimada por 30 anos e uma área sob o sistema de cana crua por 7 anos, sendo ambas de aproximadamente 1 hectare, foram escolhidas para realização dos trabalhos (Figura 1). Em junho de 2007 logo após o primeiro corte foram coletadas as amostras químicas e físicas sendo que os canaviais haviam passado por uma renovação no ano de 2006. Nesta renovação foi realizada a erradicação química da soqueira além de uma operação de subsolagem. Antes do plantio foram aplicadas 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico e 1 t ha⁻¹ de gesso agrícola em área total sem incorporação dos mesmos visando a correção do solo. Por ocasião do plantio foi utilizado 500 kg ha⁻¹ da fórmula 10-25-25 e sendo o mesmo realizado de forma manual. No histórico das soqueiras anteriores a renovação de 2006, foi aplicado

100 m⁻³ de vinhaça, 300 kg ha⁻¹ de uréia na cana queimada e 200 kg ha⁻¹ de nitrato de amônia na cana crua. A aplicação de uréia na área de cana queimada é feita com incorporação sendo que o nitrato de amônio na área de cana crua é aplicado superficialmente.

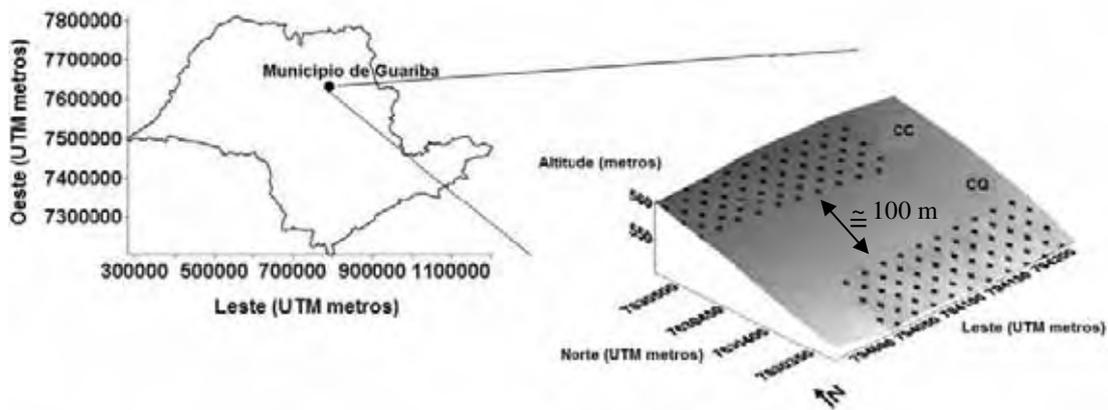


Figura 1. Localização da área e modelo digital de elevação (MDE); área com sistema de colheita de cana crua (CC) e área com sistema de colheita de cana queimada (CQ).

Foram estabelecidas duas malhas georreferenciadas de aproximadamente 1 ha com dimensões de 200x50 metros, sendo que as amostras foram coletadas em intervalos de 10 metros na profundidade de 0,00-0,25 m para realização das análises químicas e mineralógicas do solo e para a determinação do teor de argila.

A composição granulométrica foi determinada pela metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). Os teores de MO, P, K, Ca, Mg e o pH do solo foram determinados segundo RAIJ et al. (2001). Os atributos SB, CTC e V% foram calculados a partir dos valores das bases e H+Al. Os resultados de adsorção de P foram obtidos de acordo com o método descrito por CASAGRANDE & CAMARGO (1997). A concentração de 100 mg L⁻¹ de fósforo foi adicionada a amostras de solos, sendo que a quantidade de P adsorvido foi calculada subtraindo-se o valor determinado em solução do valor total adicionado.

Foram escolhidos em cada área 20 pontos, nos quais foi determinado o grau de humificação segundo a metodologia proposta por MILORI et al. (2006). Foram

preparadas duas pastilhas por amostra de solo com dimensões de 10 mm de diâmetro e 2 mm de espessura. As pastilhas, com massa de aproximadamente 0,5 g, foram produzidas por meio de uma prensa hidráulica, aplicando-se uma carga de 12 toneladas, durante 3 minutos. A espectroscopia de emissão óptica com plasma induzido por laser (LIBS) é uma técnica analítica avançada para análise elementar semiquantitativa, baseada na medida da emissão de espécies excitadas em um plasma produzido por um laser. A técnica de fluorescência induzida por laser (LIFS) tem como princípio básico a excitação das amostras do solo com um laser de emissão, na região do ultravioleta/azul, resultando na fluorescência de grupos funcionais da matéria orgânica, relacionados com o processo de humificação. Essa fluorescência ocorre na região do visível com pico em aproximadamente 510 nm. A fluorescência total (área sob a curva) correlaciona-se aos teores de carbono do solo e, quando ponderada a partir dos teores de C orgânico da amostra (obtidos pelo LIBS), traz informações a respeito do grau de humificação da matéria orgânica.

A caracterização da goethita e da hematita foi feita com amostras pulverizadas após tratamento da fração argila com NaOH 5 mol L⁻¹ (1g argila 100ml solução⁻¹), para concentração dos óxidos de ferro, segundo método de NORRISH & TAYLOR (1961), modificado por KÄMPF & SCHWERTMANN (1982). As amostras foram lavadas com solução de HCl 0,5 mol L⁻¹ (1g de argila 100 ml de solução⁻¹) em agitação por 4 horas, para evitar a presença da sodalita nas amostras, uma vez que esta dificulta a leitura de alguns reflexos no difratograma. Para a correção dos desvios no posicionamento (d) dos reflexos foi acrescentado às amostras 10% em peso de cloreto de sódio moído e peneirado em malha 0,10mm, antes de serem difratados. A difração do raio x foi realizada em aparelho HGZ equipado com catodo de cobalto e filtro de ferro, radiação K α (20mA, 30kV), e intervalo de varredura de 23 a 49 a 1°2 θ /minuto. Todas as amostras foram preparadas pelo método do pó e peneiradas em malha 0,10mm. Nas Tabelas 1 e 2 está apresentada a caracterização química, granulométrica e física dos solos das duas áreas estudadas.

Tabela 1. Caracterização, valores médios, máximos, mínimos e coeficiente de variação dos atributos químicos e granulométricos dos solos das duas áreas estudadas.

Parâmetro		Sistema de Colheita	Média	Mínimo	Máximo	CV(%)
pH		CC	4,9b	4,3	5,5	5,0
		CQ	5,3a	4,7	6,0	4,7
P disponível	mg dm ⁻³	CC	36b	22	52	16,2
		CQ	67a	17	143	51,6
Ca		CC	28b	11	45	26,0
		CQ	43a	23	59	16,6
Mg		CC	8b	4	15	28,4
		CQ	10a	5	14	19,4
K	mmol _c dm ⁻³	CC	1,4b	0,4	3,2	47,5
		CQ	3,2a	0,5	6,5	37,7
H + Al		CC	37a	22	52	16,5
		CQ	30b	18	47	18,7
SB		CC	37,7b	15	64,0	25,6
		CQ	55,7a	30,0	84,0	16,7
CTC		CC	75,4b	57,0	94,0	11,2
		CQ	86,1a	53,0	115,0	11,1
V	%	CC	50b	28	71	18,9
		CQ	65a	51	76	8,4
Argila	g kg ⁻¹	CC	637a	580	690	3,2
		CQ	613b	560	660	3,4
Silte	g kg ⁻¹	CC	75	40	120	22,2
		CQ	58	30	90	23,9
Areia Total	g kg ⁻¹	CC	289	24	35	7,6
		CQ	328	29	37	5,3

CC – cana crua; CQ – cana queimada; V – saturação por bases.

A caracterização da goethita e da hematita foi feita com amostras pulverizadas após tratamento da fração argila com NaOH 5 mol L⁻¹ (1g argila 100ml solução⁻¹), para concentração dos óxidos de ferro, segundo método de NORRISH & TAYLOR (1961), modificado por KÄMPF & SCHWERTMANN (1982). As amostras foram lavadas com solução de HCl 0,5 mol L⁻¹ (1g de argila 100 ml de solução⁻¹) em agitação por 4 horas, para evitar a presença da sodalita nas amostras, uma vez que esta dificulta a leitura de alguns reflexos no difratograma. Para a correção dos desvios no posicionamento (d) dos reflexos foi acrescentado às amostras 10% em peso de cloreto de sódio moído e peneirado em malha 0,10mm, antes de serem difratados. A difração do raio x foi realizada em aparelho HGZ equipado com catodo de cobalto e filtro de ferro, radiação

K α (20mA, 30kV), e intervalo de varredura de 23 a 49 a 1°20'/minuto. Todas as amostras foram preparadas pelo método do pó e peneiradas em malha 0,10mm.

Tabela 2. Caracterização, valores médios, máximos, mínimos e coeficiente de variação dos atributos físicos dos solos das duas áreas estudadas.

Parâmetro		Sistema de Colheita	Média	Mínimo	Máximo	CV(%)
Ds	g cm ⁻³	CC	1,29b	1,14	1,42	5,0
		CQ	1,35a	1,01	1,55	9,8
Macro	%	CC	14a	6	26	30,5
		CQ	11b	4	27	50,17
Micro	%	CC	37a	30	41	6,1
		CQ	36a	28	44	7,5
VTP	%	CC	50a	43	58	6,2
		CQ	47b	37	58	9,2

CC – cana crua; CQ – cana queimada; Ds – densidade do solo; Macro – macroporosidade; Micro – microporosidade; VTP – volume total de poros; DMP – diâmetro médio ponderado.

Foram utilizados para avaliação os reflexos Hm (012 e 110), Gt (110 e 111). O DMC da Hm e Gt foi calculado a partir da LMA e da posição dos reflexos dos minerais Hm (110) e Gt (110). Foi utilizada a equação de Scherrer (SCHULZE, 1984) para o cálculo do DMC. A razão goethita/(goethita + hematita) – [Gt/(Gt + Hm)] foi calculada empregando-se as áreas dos reflexos Hm (012) e Gt (110). Para o cálculo da razão Gt/(Gt +Hm), a área do reflexo Gt (110) foi multiplicada por 0,35, devido à intensidade de 35% da Hm (012) (KÄMPF & SCHWERTMANN, 1998). O Fe ditonito foi transformado em teor de goethita e hematita (DICK, 1986).

Foi feita a análise de componentes principais para os atributos físicos, químicos e mineralógicos utilizando-se o programa SAS. Foram realizadas análises estatísticas multivariadas de agrupamentos. A estratégia de agrupamento utilizada foi a ligação simples, que possibilitou obter agrupamentos sequenciais, aglomerativos, hierárquicos e não superpostos, expressando os resultados através de gráficos de esquemas hierárquicos ou dendogramas. O coeficiente de semelhança utilizado para a análise de agrupamentos, possibilitando a elaboração dos dendogramas, foi a distância euclidiana média.

3.3. Resultados e Discussão

Os resultados da ACP (Análise dos Componentes Principais) estão apresentados na Figura 2. O objetivo da ACP é encontrar em um conjunto de dados um atributo que seja capaz de explicar parte significativa da variância de toda população amostrada, por meio de correlações lineares. De acordo com THEOCHAROPOULOS et al. (1997), esse tipo de análise é interessante para a ciência do solo porque pode eleger as variáveis mais significativas nos processos pedogenéticos.

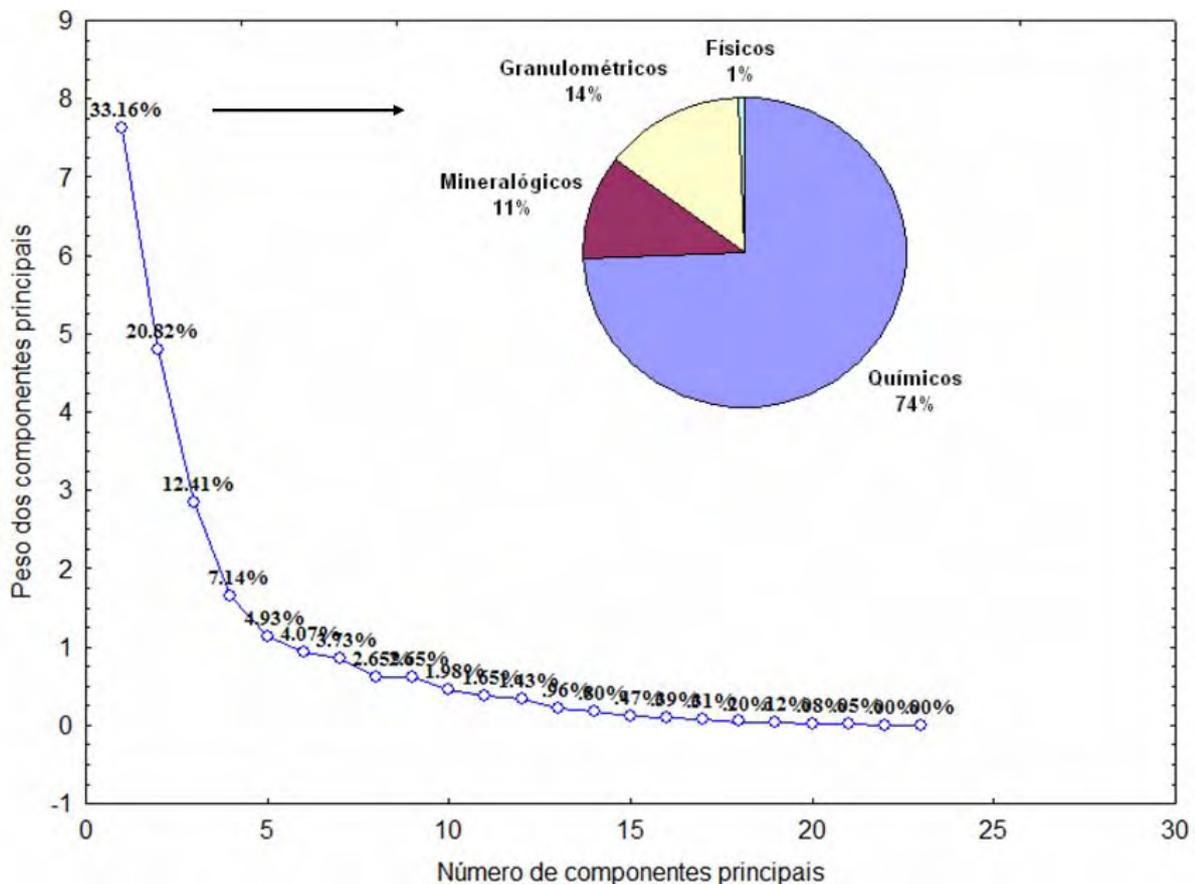


Figura 2. Gráfico da variância explicada do conjunto de atributos por cada componente principal e contribuição dos atributos químicos, granulométricos, físicos e mineralógicos na composição do CP 1.

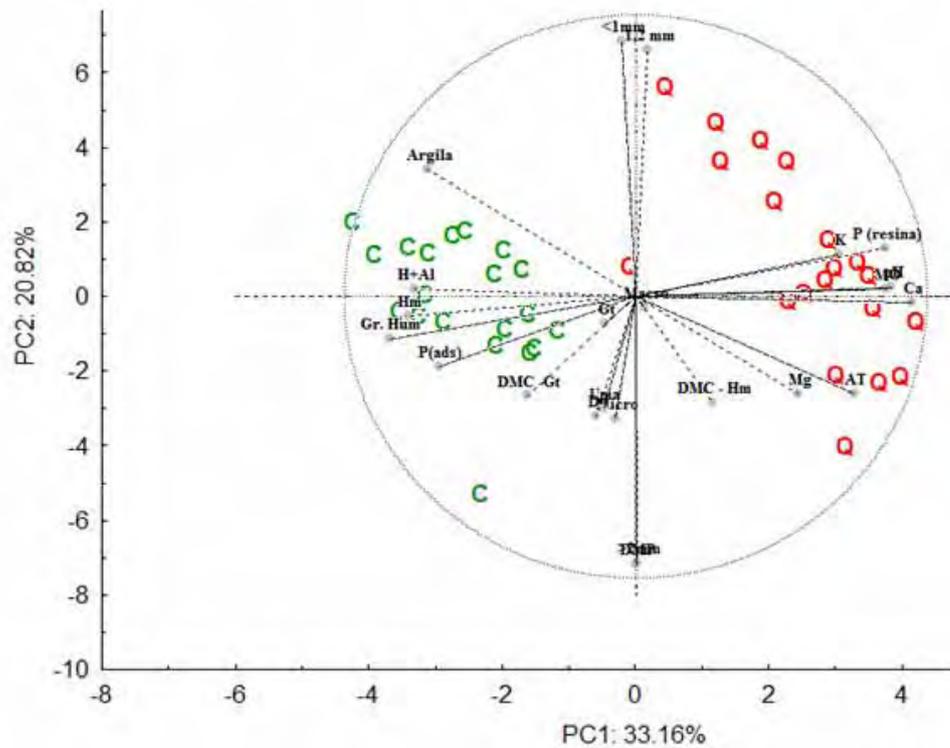
Os resultados da ACP mostram que o componente principal (CP) 1 explica 33,16% da variância dos atributos do solo estudado. O valor acumulado na CP 2 é de

53,98%. SIQUEIRA et al. (2010), estudando alguns atributos do solo, encontrou 57,62% da variância explicada pela soma das CP 1 e 2, enquanto que CARVALHO JUNIOR et al. (2008), trabalhando com análise multivariada de atributos físicos e químicos do solo, constataram que a CP 1 explica 28,29% da variância dos atributos.

Dentro da CP 1 os atributos que mais contribuíram (Figura 2) foram os químicos (74%), seguidos pelos granulométricos (14%) e mineralógicos (11%), sendo os de menor contribuição os atributos físicos (1%). CARVALHO JÚNIOR et al. (2008), utilizando análise de componentes principais em Argissolos brasileiros também encontraram maior contribuição dos atributos químicos em relação aos físicos na CP 1.

Foi realizada a construção do gráfico Biplot (Figura 3) entre os dois primeiros componentes principais, representação gráfica e a correlação dos atributos nas componentes principais que indicam a formação de dois grupos distintos de colheita, dividindo desta forma as áreas de cana crua (C) e cana queimada (Q). CAMPOS et al. (2006), utilizando a análise multivariada de componentes principais para estudar os atributos do solo em diferentes superfícies geomórficas, encontraram a formação de três grupos, que correspondiam à diferenciação das três superfícies avaliadas.

Os resultados da análise de Cluster (agrupamento) são apresentados na Figura 4. Ocorreu o agrupamento para os atributos grau de humificação, teor de hematita e fósforo adsorvido, permitindo a separação dos sistemas de colheita em dois grupos distintos. Portanto, a análise de Cluster foi aplicada com sucesso no exame e separação dos sistemas de colheita, já que o comportamento dos atributos do solo pertencentes a um mesmo sistema de colheita é semelhante, e diferente do comportamento dos atributos do solo do outro sistema (WEBSTER & OLIVER, 1990). A idéia de que a estatística multivariada permite visualizar uma variabilidade mínima dentro de um grupo e máxima entre os grupos é aplicável para este caso (YEMEFACK et al., 2005).



Atributos	PC 1		PC 2	
	r ²	Ranking	r ²	Ranking
Argila	-0,714	9	0,452	5
AT	0,750	8	-0,344	11
pH	0,879	2	0,033	20
MO	0,860	3	0,027	21
P (resina)	0,855	4	0,171	14
P(ads)	-0,675	11	-0,249	13
K	0,698	10	0,149	16
Ca	0,947	1	-0,020	23
Mg	0,558	12	-0,344	12
H+Al	-0,756	7	0,025	22
Ds	-0,135	15	-0,423	7
Macro	0,030	21	-0,039	19
Micro	-0,070	18	-0,435	6
Uma	-0,111	16	-0,399	8
DMP	0,000	23	-0,952	1
>2mm	0,006	22	-0,948	2
1,2 mm	0,040	20	0,876	4
<1mm	-0,048	19	0,909	3
DMC -Gt	-0,374	13	-0,353	10
DMC - Hm	0,263	14	-0,377	9
Gt	-0,105	17	-0,096	17
Hm	-0,782	6	-0,070	18
Gr. Hum	-0,845	5	-0,151	15
Variância parcial	33,16		20,82	
Variância acumulada	33,16		53,98	

Figura 3. Análise multivariada de componentes principais para os atributos químicos, granulométricos, mineralógicos e físicos nos dois sistemas de colheita estudados. (C=cana crua;Q=cana queimada).

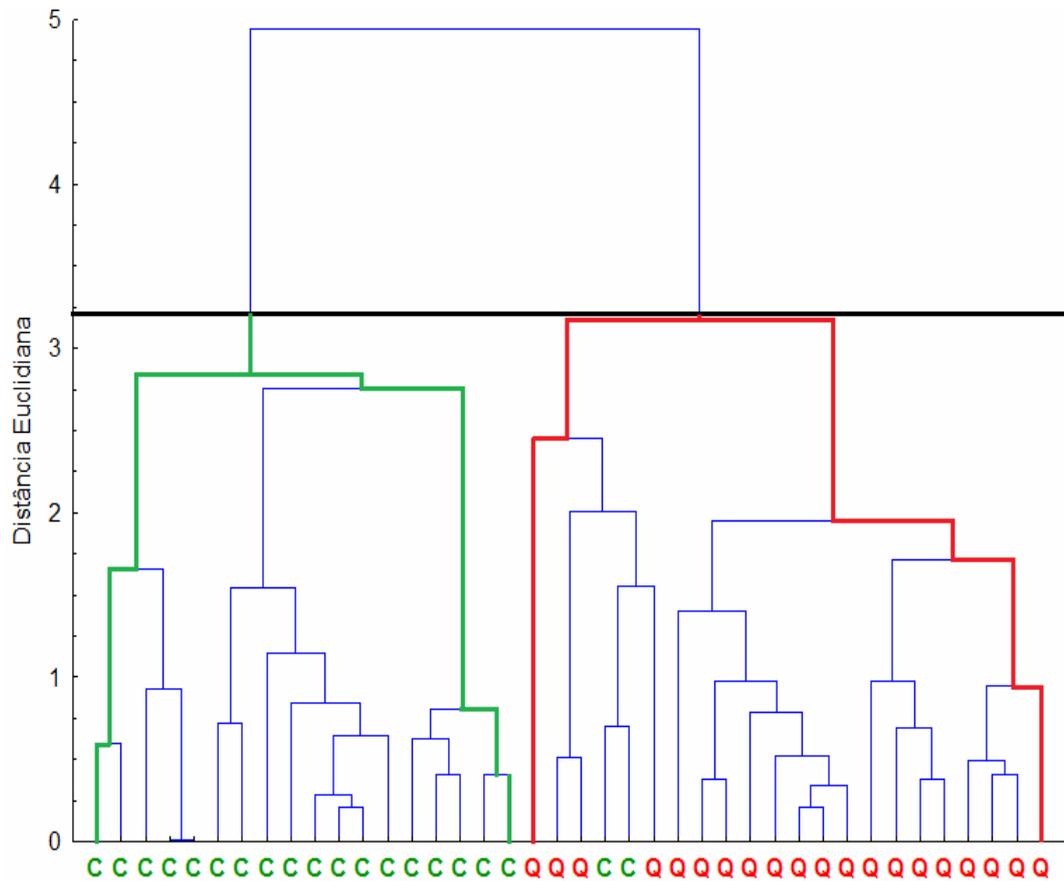


Figura 4. Dendrograma das inter-relações dos dois sistemas de colheita, referentes ao conjunto de atributos químicos, granulométricos, mineralógicos e físicos, pela distância euclidiana média. (C=cana crua;Q=cana queimada).

Os resultados da avaliação estatística dos atributos cristalográficos da hematita (Hm) e goethita (Gt) e da razão $Gt/(Gt+Hm)$ podem ser observados na Tabela 3. A Hm apresentou maior grau de cristalinidade em relação à Gt nas duas áreas estudadas, sendo que na área de cana queimada a Hm apresentou maior DMC do que na área de cana crua. Adversamente, a Gt apresentou o menor DMC na área de cana queimada, sendo este o menor grau de cristalinidade encontrado neste estudo. Segundo FITSPATRICK & SCHWERTMANN (1982), o maior grau de cristalinidade é evidenciado pelo maior DMC.

Tabela 3. Valores médios, máximos, mínimos e coeficiente de variação para os atributos químicos e mineralógicos na profundidade de 0-25 cm nos dois sistemas de colheita estudados.

Parâmetro	Sistema de Colheita	Média	Mínimo	Máximo	CV(%)
DMC	Hm (nm)	53,93b	53,78	54,02	0,1
	(110)	57,27a	52,57	90,88	18,6
	Gt (nm)	41,34a	23,28	86,91	45,2
	(110)	28,23b	19,69	86,85	30,6
Teor	Hm (g kg ⁻¹)	167,9a	132,0	195,1	7,6
	(110)	115,3b	48,2	152,5	15,8
	Gt (g kg ⁻¹)	25,7a	10,5	61,6	39,0
	(110)	26,7a	9,5	64,3	43,7
Relação	Gt/(Gt+Hm)	0,12b	0,05	0,22	29,8
		0,17a	0,01	0,55	44,6
Fed	g kg ⁻¹	14a	11	15	5,0
		9b	6	13	13,1
M.O	g dm ⁻³	24a	15	34	3,5
		25a	16	34	2,7
H _{LIFS}		231a	198	280	9,0
		180b	158	204	8,0
P _{ads}	mgP kg ⁻¹	373b	171	514	19,0
		415a	129	790	39,5

CC – cana crua; CQ – cana queimada; DMC – diâmetro médio do cristal; Hm – hematita; Gt – goethita; M.O – Matéria Orgânica; Fed – ferro ditonito; H_{LIFS} – grau de humificação; P_{ads} – fósforo adsorvido

CAMARGO et al. (2008a), estudando Latossolos argilosos, encontraram valores de DMC muito próximos aos encontrados no presente trabalho. Já GHIDIN et al. (2006) encontraram valores de DMC variando de 19 a 39 nm para Hm, avaliando vários tipos de Latossolos brasileiros. Estes resultados evidenciam o que alguns autores têm demonstrado (SILVA NETO et al., 2008; INDA JUNIOR & KÄMPF, 2005) de que a criação deste novo ambiente proporcionado pelo tipo de colheita pode provocar alterações nos principais minerais de argila dos Latossolos, sendo que estas modificações podem alterar outros atributos do solo. Os valores do CV apresentados na Tabela 3 demonstram que a maior variabilidade dos resultados de DMC foram encontrados para a Gt em relação a Hm, concordando com os valores encontrados por CAMARGO et al. (2008a), que sugerem que a Hm apresenta menor sensibilidade às mudanças do meio do que a Gt.

Observando-se os teores de Hm e Gt (Tabela 3) percebe-se que houve diferença significativa para a Hm nas duas áreas estudadas, enquanto que a Gt não apresentou diferença nos dois sistemas de colheita, havendo um predomínio no teor de Hm em relação à Gt em ambas as áreas. O predomínio da Hm também foi encontrado por SILVA NETO et al. (2008) e GHIDIN et al. (2006), que atribuíram a diferença à composição química e mineralógica dos materiais de origem, clima das áreas de amostragem, condições de drenagem e remoção de Si do solo. Porém a diferença dos teores de Hm nas duas áreas não pode ser explicada simplesmente pelo material de origem ou pelo clima, uma vez que as duas áreas estão muito próximas, apresentando apenas diferenças quanto ao tipo de colheita. Estes resultados sugerem que as diferenças pedoambientais criadas devido à grande quantidade de palha deixada sobre o solo na área de cana crua podem estar interferindo não somente na cristalografia, mas também nos teores dos minerais de argila. A maior presença de Hm na área de cana crua pode ser confirmada através dos resultados da relação $Gt/(Gt+Hm)$, que apresentaram os menores valores na área de cana crua (Tabela 3).

Maiores valores de Fed foram encontrados na área de cana crua em comparação à de cana queimada. SILVA NETO et al. (2008) concluíram que a distribuição das formas de Fe e da razão Feo/Fed apresentou relação negativa com os teores de C orgânico total e da fração humina, sugerindo a ocorrência de reordenamento dos óxidos de Fe possivelmente por meio da dissolução redutiva.

Os valores do grau de humificação e dos teores de M.O. do solo encontram-se apresentados na Tabela 3. Adversamente ao que alguns autores têm encontrado (SILVA NETO et al., 2008; CANELLAS et al., 2007), os teores de M.O. não apresentaram diferenças significativas entre as duas áreas; porém, quando se observa o grau de humificação, percebe-se uma diferença expressiva (MENDONZA et al., 2000), sendo que a área de cana crua apresenta os maiores valores. O maior grau de humificação na área de cana crua, juntamente com os maiores valores de DMC da goethita encontrados nesta área (Tabela 3), indica a tendência de um novo equilíbrio dinâmico do sistema solo, diante das alterações mineralógicas graduais que podem ocorrer (SILVA NETO et al., 2008; KARATHANASIS & WELLS, 1989). INDA JUNIOR &

KÄMPF (2005), estudando a dissolução seletiva de óxidos de ferro, concluíram que a heterogeneidade da goethita ocorreu, possivelmente, como resultado de mudanças pedoambientais ao longo da pedogênese, que alteram os fatores controladores da atividade do Al^{3+} na solução do solo, como pH, teor de compostos orgânicos, saturação por bases e concentração de silício.

As diferentes cristalinidades destes minerais afetam sua superfície específica, capacidade de troca de ânions e conseqüentemente a adsorção de fósforo e vários fenômenos de superfície (ROLIM NETTO et al., 2004). Na Tabela 3 observa-se que o P_{ads} apresentou-se significativamente menor na área de cana crua, sistema no qual ocorreram os maiores DMC da Gt e o maior grau de humificação da matéria orgânica (Tabela 3). Estes resultados reforçam a hipótese de que a adsorção de fósforo do solo pode ser alterada pela qualidade da matéria orgânica, não somente por esta competir com o íon fosfato pelos sítios de adsorção (HEREDIA & CIRELLI, 2007; MESQUITA FILHO & TORRENT, 1993), mas também por proporcionar condições pedoambientais que podem afetar a dinâmica dos óxidos de ferro pedogênicos (KÄMPF & CURI, 2000), através do favorecimento das principais reações: dissolutivas, redução e complexação destes óxidos (SCHWERTMANN 1991; SILVA NETO et al. 2008).

VALLADARES et al. (2003), estudando a adsorção de fósforo em solo com baixa atividade de argila, observaram que os solos de textura mais argilosa apresentaram maior capacidade de adsorção de fósforo. No presente estudo, os maiores valores de P_{ads} (Tabela 3) ocorreram nos solos com menor teor de argila (Tabela 1), o que reforça a hipótese de que a qualidade da argila apresenta igual ou maior importância que a quantidade deste atributo, principalmente quando se compara solos muito argilosos e bastante intemperizados.

O presente trabalho encontrou os maiores valores de pH e V% na área de cana queimada em relação à área de cana crua (Tabela 1). GUILHERME et al. (2000) constataram que o aumento do pH do solo resulta em uma diminuição das cargas positivas dos colóides do solo, com conseqüente redução da adsorção de fósforo. No presente trabalho o maior P_{ads} foi encontrado na área de cana queimada, a qual apresentou as melhores condições químicas (pH e V%), o que reforça os resultados

discutidos até o momento, pois sugerem que, se as propriedades químicas das duas áreas fossem semelhantes, as diferenças de P_{ads} entre os sistemas de colheita de cana crua e queimada seriam ainda maiores do que os valores apresentados na Tabela 3.

3.4. Conclusões

Os atributos do solo, quando analisados conjuntamente, utilizando a análise estatística multivariada permitiu visualizar a separação dos sistemas de colheita estudados (cana crua e cana queimada) em grupos distintos. As condições pedoambientais alteradas devido à grande quantidade de palha deixada sobre o solo na colheita de cana crua contribuíram para alterações na cristalografia da goethita, um aumento no grau de humificação da matéria orgânica e uma menor adsorção de fósforo nesta área em relação ao sistema de cana queimada.

CAPÍTULO 4 – VARIABILIDADE E CORRELAÇÃO ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E DOS ÓXIDOS DE FERRO EM DIFERENTES SISTEMAS DE COLHEITA DE CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO – Na agricultura, a obtenção de maiores produtividades das culturas, conservando a sustentabilidade dos agroecossistemas, tem levado a uma busca gradativa do conhecimento das variáveis envolvidas nos sistemas de produção. Determinar as causas da variabilidade dos atributos do solo é uma forma de tomada de decisão em relação às técnicas de manejo a se adotar. O presente trabalho tem por objetivo estudar a variabilidade espacial dos atributos químicos e dos óxidos de ferro em áreas com colheita de cana crua e cana queimada e verificar as correlações existentes entre os atributos estudados. Duas parcelas de aproximadamente um hectare foram delimitadas em áreas com cana crua e cana queimada. Foram retiradas, em cada área, amostras de solos em 126 pontos, na profundidade de 0,00-0,25 m. Os resultados das análises mineralógicas e químicas foram submetidos às análises geoestatísticas, obtendo-se a dependência espacial, semivariogramas e mapas de krigagem dos atributos estudados. Para analisar a correlação espacial entre os atributos estudados foram construídos semivariogramas cruzados. A variabilidade espacial dos atributos químicos é maior em áreas com colheita de cana crua quando comparadas com áreas de colheita de cana queimada, ao contrário dos atributos mineralógicos, que apresentaram os maiores alcances na área de cana crua. Os atributos MO e DMC da Gt apresentaram correlação espacial positiva, enquanto que a Argila apresentou correlação negativa com a adsorção de fósforo nos dois sistemas de colheita de cana-de-açúcar avaliados.

Palavras-chave: cana crua, cana queimada, geoestatística

4.1. Introdução

Com a globalização da economia e a atual competitividade do mercado agrícola é de fundamental importância a redução de custos ao longo da cadeia produtiva, porém mantendo altos os níveis de produtividade das culturas (SILVA et al., 2008). Acrescenta-se a esta realidade econômica a necessidade de conservação dos recursos naturais através de uma maior eficiência na manipulação da lavoura, como no caso da aplicação de insumos, que deve ser realizada de acordo com a verdadeira necessidade de cada cultura.

A agricultura de precisão é uma técnica que vem sendo utilizada com o objetivo de otimizar o uso de insumos agrícolas, reduzir os custos da lavoura (BARBIERI et al., 2008) e aumentar a produtividade (RAGAGNIN et al., 2010). Porém, para que a agricultura de precisão obtenha o sucesso esperado, é preciso primeiramente se detectar a variabilidade espacial (EARL et al., 2003; SILVEIRA et al., 2000) e temporal dos atributos e, baseado nestas informações, tomar as decisões corretas em relação às verdadeiras necessidades de aplicação de insumos durante todo o processo produtivo (MACHADO et al., 2007; WEIRICH NETO et al., 2006).

A variabilidade espacial dos solos começa a acontecer desde a sua formação (MARQUES JÚNIOR & LEPSCH, 2000) e ao longo do tempo tende a aumentar, devido a vários fatores, dentre eles a topografia (SIQUEIRA et al., 2010; BARBIERI et al., 2008), a utilização do solo em atividades agrícolas (SILVA et al., 2008) e os vários tipos de manejo utilizados para cada cultura, como o preparo do solo (SILVEIRA et al., 2000; CARVALHO et al., 2002), a localização de aplicação de fertilizantes e o tipo de colheita (CAVALCANTE et al., 2007). Portanto, quando se estuda os atributos do solo, é importante se considerar a variabilidade, pois os fatores e processos de sua formação, que atuaram ao longo do tempo, imprimiram-lhe variabilidades naturais que, somadas ao manejo, acentuam a variabilidade dos atributos do solo.

As mudanças sofridas na colheita da cana-de-açúcar nos últimos anos, deixando de ser queimada e colhida manualmente (cana queimada) para ser colhida com máquina e sem a queima do canavial (cana crua) (CAMPOS et al., 2010), tem

proporcionado alterações nas propriedades do solo (MENDONZA et al., 2000; ROQUE et al., 2010), devido não somente ao aumento do tráfego de máquinas mas também à grande quantidade de palha deixada sobre o solo. Segundo SALVIANO et al. (1998), os sistemas de manejo conservacionistas criam um ambiente no solo diferente daquele encontrado no sistema convencional, resultante dos efeitos dos resíduos superficiais e da reduzida movimentação do solo.

Alguns autores têm demonstrado que nos sistemas de produção agrícola em que a palhada é deixada sobre o solo a variabilidade espacial dos atributos químicos é maior (SOUZA, 1992; SILVEIRA et al., 2000, ZANÃO JÚNIOR et al., 2010) do que a variabilidade encontrada para estes atributos no sistema convencional. SILVEIRA et al. (2000) descrevem que o acúmulo e a qualidade do material de cobertura produzido ao longo dos anos, o não revolvimento do solo e as frequentes adubações e calagens em superfície formam um acúmulo superficial de matéria orgânica e nutriente, aumentando tanto a variabilidade vertical quanto a horizontal.

Além das características químicas, outros atributos do solo têm sofrido alterações com as atuais mudanças no tipo de colheita da cana-de-açúcar, dentre eles os óxidos de ferro que, apesar de serem considerados estáveis por longo tempo, têm apresentado diferenças no teor (SILVA NETO et al., 2008) e na cristalografia (INDA JUNIOR & KÄMPF, 2005). A variabilidade espacial dos óxidos de ferro também tem sofrido alterações, devido a diversos fatores, tais como o acúmulo de palha sobre o solo e as diferentes formas do relevo (MONTANARI et al., 2010; CAMARGO et al., 2008a).

Alguns autores têm estudado a correlação espacial entre alguns atributos do solo encontrando bons resultados (ANGELICO, 2006; CAMARGO et al., 2008b; SCHAFFRATH et al. 2008). A correlação espacial pode ser feita utilizando-se a geoestatística, que vem sendo muito utilizada para avaliar e descrever detalhadamente a distribuição espacial das propriedades do solo (VIEIRA, 2000), através da construção de um semivariograma cruzado (GUIMARÃES, 2004). Utilizando o semivariograma cruzado, ANGELICO (2006) encontrou boa correlação espacial entre os atributos pH, Mn e M.O., possibilitando realizar a estimativa do pH e do Mn eficientemente através dos teores de M.O..

Desta forma, é muito importante estudar a influência das práticas de colheita na variabilidade dos atributos do solo e verificar as correlações espaciais entre estes atributos, pois quando uma prática interfere em determinado atributo do solo este pode interferir em vários outros, alterando, assim, várias características de determinado solo. Portanto, o presente trabalho teve por objetivo estudar a variabilidade espacial dos atributos químicos e dos óxidos de ferro em áreas com colheita de cana crua e cana queimada e verificar as correlações existentes entre os atributos estudados.

4.2. Material e Métodos

O experimento foi realizado na área da Usina São Martinho, na região de Ribeirão Preto (SP), com latitude de 21° 24' S e longitude de 48° 09' W, com altitude média de 550m. O clima é do tipo tropical com chuvas de verão (Aw) pelo critério de classificação climática de Köppen. A vegetação natural era constituída por floresta tropical subcaducifólia.

O solo é um Latossolo Vermelho Eutroférico, textura muito argilosa (LVef) segundo a classificação proposta pela EMBRAPA 2006, cultivado com cana-de-açúcar por mais de 30 anos. O relevo em ambas as áreas é suave ondulado, com declividades variando de 3 a 4%.

As áreas utilizadas neste estudo foram localizadas em dois talhões vizinhos, com diferentes históricos de manejo: cana crua (CC), com sete anos de colheita mecanizada, com grande quantidade de resíduos da cultura sobre a superfície do solo, e cana queimada (CQ), com histórico de queima e colheita manual da cultura desde por 30 anos.(Figura 1). Os canaviais instalados nas áreas passaram por uma renovação no ano de 2006 sendo que a coleta das amostras para análises químicas e físicas foi realizada no ano posterior logo após o primeiro corte. Na renovação ocorreram as seguintes operações: subsolagem; erradicação química da soqueira; aplicação de 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico; 1 t ha⁻¹ de gesso agrícola. A adubação de plantio foi realizada na sulcação sendo utilizado 500 kg ha⁻¹ da fórmula 10-25-25 e o plantio

realizado de forma manual. Em ambas as áreas foi aplicado em soqueira, ao longo dos anos, 100 m^{-3} de vinhaça, 300 kg ha^{-1} de uréia na cana queimada e 200 kg ha^{-1} de nitrato de amônia na cana crua. Na cana queimada o adubo nitrogenado é incorporado a aproximadamente 20 cm de profundidade enquanto que na área de cana crua a aplicação é realizada superficialmente ao lado da linha de plantio.

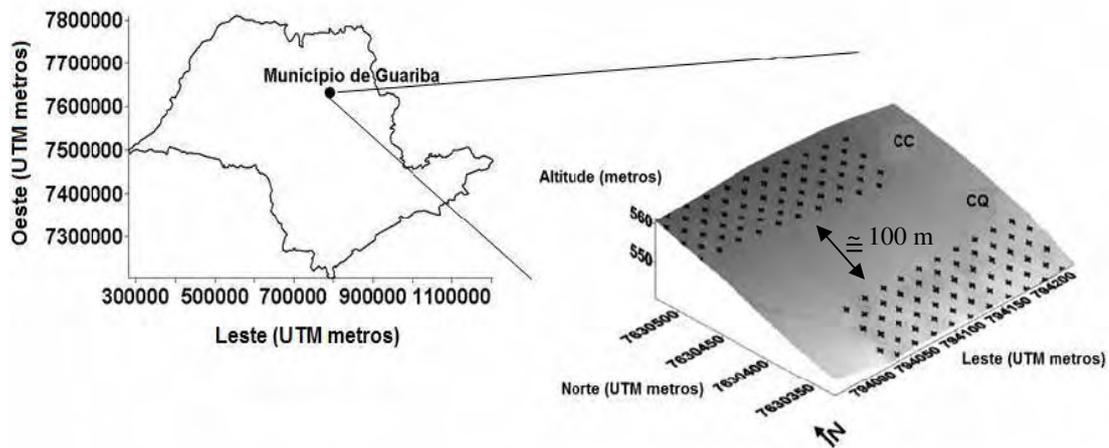


FIGURA 1. Localização da área e modelo digital de elevação (MDE); área com sistema de colheita de cana crua (CC) e área com sistema de colheita de cana queimada (CQ).

Uma malha de espaçamento de $10 \times 10 \text{ m}$ foi confeccionada em cada sistema de colheita, e os pontos localizados nos cruzamentos das malhas foram georreferenciados. Os solos foram amostrados, perfazendo um total de 126 pontos em cada malha, sendo que as amostras de solos foram coletadas nas profundidades de 0,00-0,25 m.

O teor de argila foi determinado pela metodologia proposta pela EMBRAPA (1997), empregando-se $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ como dispersante químico e agitação mecânica de baixa rotação, por 16 horas. Foram determinados o teor de matéria orgânica (MO), e o teores de K, Ca, Mg e H + Al (RAIJ, 2001). A soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions do solo (CTC) e o V% foram calculados a partir dos valores das bases e H+Al. Os resultados de adsorção de P foram obtidos de acordo com o método descrito por CASAGRANDE & CAMARGO (1997). A concentração de 100 mg L^{-1} de fósforo foi adicionada a amostras de solo, sendo que a quantidade de P

adsorvido foi calculada subtraindo-se o valor determinado em solução do valor total adicionado.

A caracterização da goethita e da hematita foi feita com amostras pulverizadas após tratamento da fração argila com NaOH 5 mol L⁻¹ (1g argila 100ml solução⁻¹), para concentração dos óxidos de ferro, segundo método de NORRISH & TAYLOR (1961), modificado por KÄMPF & SCHWERTMANN (1982). As amostras foram lavadas com solução de HCl 0,5 mol L⁻¹ (1g argila 100 ml solução⁻¹) em agitação por 4 horas, para evitar a presença da sodalita nas amostras, uma vez que esta dificulta a leitura de alguns reflexos no difratograma. Para a correção dos desvios no posicionamento (d) dos reflexos foi acrescentado às amostras 10% em peso de cloreto de sódio moído e peneirado em malha 0,10mm, antes de serem difratados. A difração do raio x foi realizada em aparelho HGZ equipado com cátodo de cobalto e filtro de ferro, radiação K α (20mA, 30kV) e intervalo de varredura de 23 a 49 a 1°2 θ /minuto. Todas as amostras foram preparadas pelo método do pó e peneiradas em malha 0,10mm.

Foram utilizados para avaliação os reflexos Hm (012 e 110) e Gt (110 e 111). O DMC da Hm e Gt foi calculado a partir da LMA e da posição dos reflexos dos minerais Hm (110) e Gt (110). Foi utilizada a equação de Scherrer (SCHULZE, 1984) para o cálculo do DMC. A razão goethita/(goethita + hematita) – [Gt/(Gt + Hm)] foi calculada empregando-se as áreas dos reflexos Hm (012) e Gt (110). Para o cálculo da razão Gt/(Gt + Hm), a área do reflexo Gt (110) foi multiplicada por 0,35, devido à intensidade de 35 % da Hm (012) (KÄMPF & SCHWERTMANN, 1998). O Fe ditionito (Fed) foi transformado em teor de goethita e hematita (DICK, 1986).

Os dados foram submetidos à estatística descritiva calculando-se a média, mediana, assimetria, curtose, coeficiente de variação e tipo de distribuição. Posteriormente foi realizada a análise geoestatística, obtendo-se a dependência espacial, semivariogramas e mapas de krigagem dos atributos estudados. Para analisar a correlação espacial entre os atributos estudados, foram construídos semivariogramas cruzados, que podem assumir valores tanto positivos, indicando que o aumento em um dos atributos é acompanhado pelo aumento do outro, como negativos, indicando que,

quando ocorre o aumento de um dos atributos, ocorre o decréscimo do outro, segundo BHATTI et al. (1991) citados por MATA (1997).

4.3. Resultados e Discussão

Os resultados da análise descritiva dos atributos granulométricos, químicos e mineralógicos encontram-se apresentados na Tabela 1. Pelo teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov apenas alguns atributos estudados apresentaram normalidade na distribuição dos dados, porém para os atributos que não apresentaram uma distribuição normal os valores de média e mediana são próximos, o que caracteriza uma distribuição simétrica. Os coeficientes de assimetria e curtose próximos a zero para os atributos que não apresentaram distribuição normal reforçam a simetria na distribuição dos dados (Tabela 1). De acordo com CRESSIE (1991) é importante que os dados não apresentem distribuições assimétricas, pois estas podem comprometer as análises geoestatísticas.

SOUZA et al. (2010) e RACHID JÚNIOR et al. (2006), estudando a variabilidade espacial de atributos químicos do solo e da produtividade da cana-de-açúcar e da soja respectivamente, não encontraram normalidade para a maioria dos atributos dos solos estudados, porém encontraram valores de média e mediana bastante próximos. CAMARGO et al. (2008a), estudando variabilidade espacial de atributos mineralógicos em diferentes formas do relevo, encontraram distribuição normal apenas para a relação $Gt/Gt+Hm$, enquanto que para o restante dos atributos encontraram distribuições apenas simétricas.

De acordo com a classificação proposta por WARRICK & NIELSEN (1980), foram encontrados valores de coeficiente de variação baixo, médio e alto para os parâmetros avaliados, sendo que os maiores valores foram para os atributos mineralógicos nas duas áreas estudadas. CAMARGO et al. (2008a) encontraram valores de coeficiente de variação altos para a maioria dos atributos mineralógicos avaliados. SOUZA et al. (2010) encontraram coeficientes de variação baixo e médio

para os atributos químicos avaliados, enquanto que CAVALCANTE et al. (2007) e RACHID JÚNIOR et al. (2006) encontraram altos coeficientes de variação para estes mesmos atributos.

TABELA 1. Estatística descritiva dos atributos granulométricos químicos e mineralógicos de 126 amostras coletadas na profundidade de 0,00-0,25 m.

Parâmetro	Tipo de colheita	Média	Mediana	Coeficientes			p	
				Variação	Assimetria	Curtose		
Argila	g kg ⁻¹	CC	637a	635	3,2	0,30	0,11	<0,01
		CQ	613b	610	3,4	-0,48	-0,13	>0,15
M.O.	g dm ⁻³	CC	24a	24	3,5	0,29	0,21	>0,15
		CQ	25a	25	2,7	-0,11	-0,29	>0,15
P adsorvido	Mg kg ⁻¹	CC	373	370	19,0	0,06	0,70	>0,15
		CQ	415	405	39,5	-0,10	0,01	0,03
CTC	mmol _c dm ⁻³	CC	75,4b	75	11,2	-0,15	-0,17	>0,15
		CQ	86,1a	87	11,1	-0,58	1,26	0,07
V	%	CC	50b	52	18,9	-0,60	0,01	>0,15
		CQ	65a	63	8,4	-0,22	-0,37	>0,15
DMC – Hm	°2θ	CC	53,93b	53,94	0,1	-0,86	0,74	<0,01
		CQ	57,27a	54,01	18,6	6,40	2,88	<0,01
DMC -Gt	°2θ	CC	41,34a	36,75	45,2	0,33	0,64	<0,01
		CQ	28,23b	24,80	30,6	2,13	1,24	<0,01
Gt/Gt+Hm		CC	0,12b	0,12	29,8	0,44	-0,02	>0,15
		CQ	0,17a	0,16	44,6	0,76	0,97	<0,01
Hm	g kg ⁻¹	CC	167,9a	166,8	7,6	-0,11	-0,20	<0,01
		CQ	115,3b	118,4	15,8	-0,71	0,68	>0,15
Gt	g kg ⁻¹	CC	25,7a	24,2	39,0	0,62	1,46	<0,01
		CQ	26,7a	23,4	43,7	1,08	0,87	<0,01

Hm= hematita; Gt= goethita; DMC= diâmetro médio do cristal; R²= coeficiente de determinação; M.O.= matéria orgânica; CTC= capacidade de troca catiônica; P= fósforo; CC= cana crua; CQ= cana queimada; p= valor de p para o Teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A análise geoestatística, efetuada por meio dos semivariogramas, mostrou que todos os atributos apresentaram dependência espacial nas duas áreas estudadas (Tabela 2), sendo que os modelos melhor ajustados foram: esférico (dez atributos), gaussiano (oito atributos) e exponencial (dois atributos).

Para BERTOLANI & VIEIRA (2001) o modelo esférico é o que melhor se ajusta aos atributos do solo, concordando com os resultados encontrados no presente trabalho e com os resultados apresentados no trabalho de SOUZA et al. (2010) para atributos químicos e no trabalho de CAMARGO et al. (2008a) para atributos mineralógicos. MACHADO et al. (2007), estudando variabilidade espacial de atributos químicos,

encontraram um bom ajuste ao modelo gaussiano em parte dos atributos estudados, entre eles a CTC do solo.

TABELA 2. Geoestatística para os atributos mineralógicos, químicos e teor de argila de 126 amostras (cana crua e queimada) coletadas na profundidade de 0,0-0,25 m.

Parâmetro	Sistema de Colheita	Modelo	Alcance (metros)	Efeito pepita (C_0)	Patamar (C_0+C_1)	$^1[C_0/(C_0+C_1)] \times 100$	R^2	
Argila	g kg ⁻¹	CC	Gaussiano	23	0,01	3,73	0,3	0,75
		CQ	Esférico	35	0,046	3,167	1,4	0,82
M.O.	g dm ⁻³	CC	Gaussiano	27	0,10	67,32	0,1	0,99
		CQ	Esférico	54	3,33	13,56	19,7	0,96
P adsorvido	mg kg ⁻¹	CC	Gaussiano	20	430	4839	8,2	0,92
		CQ	Esférico	45	7180	29710	19,5	0,96
CTC	mmol _c dm ⁻³	CC	Esférico	36	19,8	54,14	26,8	0,50
		CQ	Exponencial	38	7,4	63,04	10,5	0,85
V	%	CC	Gaussiano	26	27	87,41	23,6	0,97
		CQ	Exponencial	33	1,7	30,01	5,4	0,98
DMC - Hm	°2θ	CC	Esférico	20	3,0 10 ⁻⁵	1,41 10 ⁻³	2,1	0,48
		CQ	Esférico	20	30,5	117,7	20,6	0,83
DMC - Gt	°2θ	CC	Esférico	20	13,7	73,4	15,7	0,72
		CQ	Esférico	15	140	43,3	76,4	0,5
Gt/Gt+Hm		CC	Gaussiano	12	1,37 10 ⁻⁴	8,83 10 ⁻⁴	13,4	0,89
		CQ	Gaussiano	16	5,20 10⁻⁴	3,51 10⁻³	12,9	0,81
Hm	g kg ⁻¹	CC	Esférico	25	0,1	85,6	0,1	0,5
		CQ	Gaussiano	17	52	305,5	14,5	0,91
Gt	g kg ⁻¹	CC	Esférico	19	0,9	37,65	2,3	0,85
		CQ	Gaussiano	18	12,2	77,9	13,5	0,9

Hm= hematita; Gt= goethita; DMC= diâmetro médio do cristal; R^2 = coeficiente de determinação; M.O.= matéria orgânica; CTC= capacidade de troca catiônica; P= fósforo; CC= cana crua; CQ= cana queimada; $[C_0/(C_0+C_1)] \times 100$ = grau de dependência espacial (%).

A relação entre o efeito pepita (C_0) e o patamar do semivariograma (C_0+C_1) indica o grau da dependência espacial dos atributos estudados (TRANGMAR et al., 1985). Segundo a classificação proposta por CAMBARDELLA et al. (1994), todos os atributos estudados apresentaram forte dependência espacial (Tabela 2) $[C_0/(C_0+C_1) \leq 25 \%$], com exceção da CTC na área de cana crua e o DMC Gt na área de cana queimada, que apresentaram moderado grau de dependência espacial $[(C_0/(C_0+C_1)$ entre 25 e 75 %]. Segundo VIEIRA (2000), o grau de dependência espacial forte e moderado demonstra que os semivariogramas explicam a maior parte da variância dos dados experimentais com grande confiabilidade na estimativa. RAGAGNIN et al. (2010)

e ZANÃO JÚNIOR et al. (2010), estudando variabilidade química do solo, encontraram grau de dependência espacial variando entre forte e moderada para todos os atributos estudados. Já CAMARGO et al. (2008a), em seus estudos de variabilidade espacial de atributos mineralógicos, encontraram moderado grau de dependência espacial para o DMC da goethita e da hematita.

O alcance indica a distância máxima em que os pontos amostrais estão correlacionados entre si (VIEIRA et al., 1983), ou seja, determinações realizadas a distâncias maiores que o alcance têm distribuição aleatória. Para todos os atributos químicos estudados o alcance foi maior na área de cana queimada (Tabela 2), indicando maior variabilidade espacial dos atributos na área de cana crua. Isto confirma os resultados apresentados por SOUZA (1992), SILVEIRA et al. (2000) e ZANÃO JÚNIOR et al. (2010), que encontraram maior variabilidade espacial de atributos químicos em áreas com acúmulo de palha sobre o solo comparado com áreas de manejo convencional, em que não existe cobertura de material orgânico sobre o solo.

De acordo com SILVEIRA et al. (2000), o acúmulo de material de cobertura e a aplicação de insumos como o calcário e o adubo sem revolvimento do solo provocam um acúmulo de nutrientes em superfície, causando um aumento na variabilidade espacial. Além disto, a palhada sobre o solo atua como uma barreira física para a chegada do nutriente ao solo, fazendo com que em alguns locais as partículas de calcário e adubo alcancem a superfície do solo e que em outros pontos fiquem localizados apenas sobre a camada de palha, aumentando assim a variabilidade espacial do solo.

Adversamente aos atributos químicos, os teores e a cristalografia dos óxidos de ferro apresentaram os maiores alcances na área de cana crua, com exceção da relação Gt/Gt+Hm, que apresentou maior alcance na área de cana queimada. Alcances semelhantes foram encontrados por CAMARGO et al. (2008a) estudando variabilidade espacial de óxidos de ferro em Latossolos argilosos na região de Jaboticabal-SP. É importante ressaltar que os alcances encontrados para os óxidos de ferro nas duas áreas estudadas foram muito próximos, indicando que a variabilidade espacial destes

atributos é bastante semelhante nos dois sistemas de colheita e que quando comparado com os atributos químicos apresentam maior variabilidade espacial.

Os óxidos de ferro são atributos que sofrem a interferência do pedoambiente que é criado devido ao tipo de colheita utilizado, que proporciona ou não uma camada de palha sobre o solo. Já a variabilidade espacial dos atributos químicos, apesar de também sofrer a interferência da palha, é diretamente influenciada pelas doses homogêneas de insumos aplicados ao longo dos anos, o que justifica a menor variabilidade destes em relação aos óxidos de ferro.

Nas Figuras 2 a 5 estão apresentados os mapas de isolinhas obtidos por meio da interpolação dos dados, pelo método da krigagem, para os atributos estudados. Observa-se nos mapas uma grande amplitude nestes atributos, sendo que esta diferença não pode ser observada na estatística clássica. Analisando-se o mapa da MO na área de cana crua, percebe-se locais em que o teor é de apenas 6 g dm^{-3} , enquanto que em outros os teores chegam a 38 g dm^{-3} (Figura 2). O mesmo acontece para este atributo na área de cana queimada, onde os teores variam entre 18 e 30 g dm^{-3} . SOUZA et al. (2010), estudando diferentes tipos de Latossolos, encontrou teores de matéria orgânica variando entre 13 e 30 g dm^{-3} .

Os teores de argila e a CTC do solo apresentaram grandes amplitudes nos mapas de isolinhas, sendo que para o P_{ads} observa-se uma variação de 180 a 500 mg kg^{-1} e de 140 a 620 mg kg^{-1} para as áreas de cana crua e queimada, respectivamente (Figura 2). O V% apresenta nas duas áreas valores que estão abaixo ($V < 60$) do considerado por RAIJ et al. (1997) como ideal para cultura da cana-de-açúcar e valores acima do nível adequado (Figura 3), sugerindo que as doses de corretivo a serem aplicadas devem variar ao longo de cada área. Os mapas de isolinhas são de fundamental importância para o planejamento de adubações mais exatas e com menor relação custo/benefício (CHANG et al., 2003; FRANZEN et al., 2006; SOUZA et al., 2007).

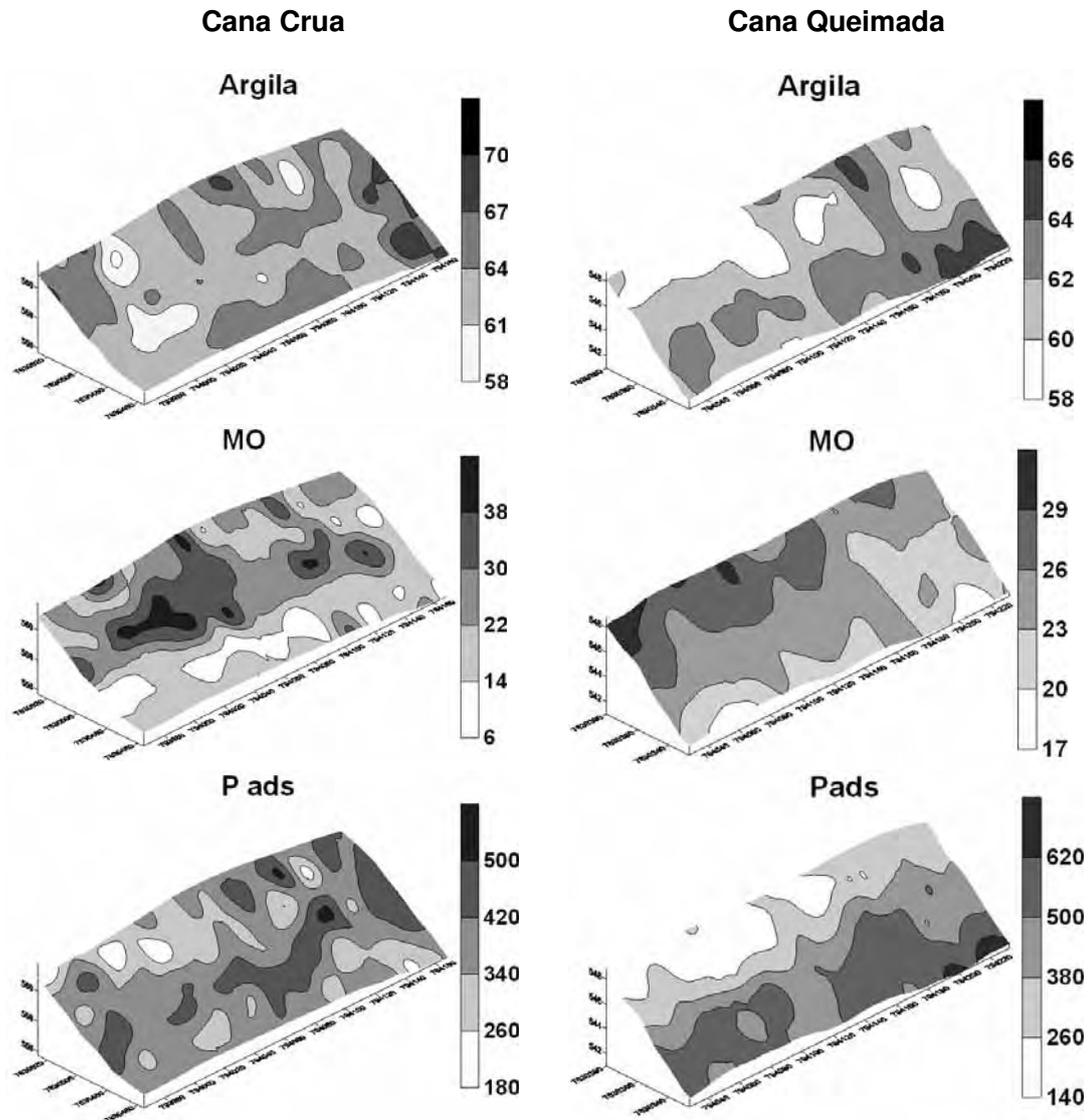


Figura 2. Mapas de isolinhas dos atributos químicos nas áreas de cana crua e cana queimada.

Nos mapas de krigagem, quanto mais próximas entre si estão as isolinhas maior a variabilidade de determinado atributo. Através da distribuição espacial dos mapas de óxidos de ferro é possível perceber a menor distância entre as isolinhas (Figuras 4 e 5) quando comparado com os mapas químicos (Figuras 2 e 3), indicando a maior variabilidade e reforçando os valores de alcance apresentados na Tabela 2.

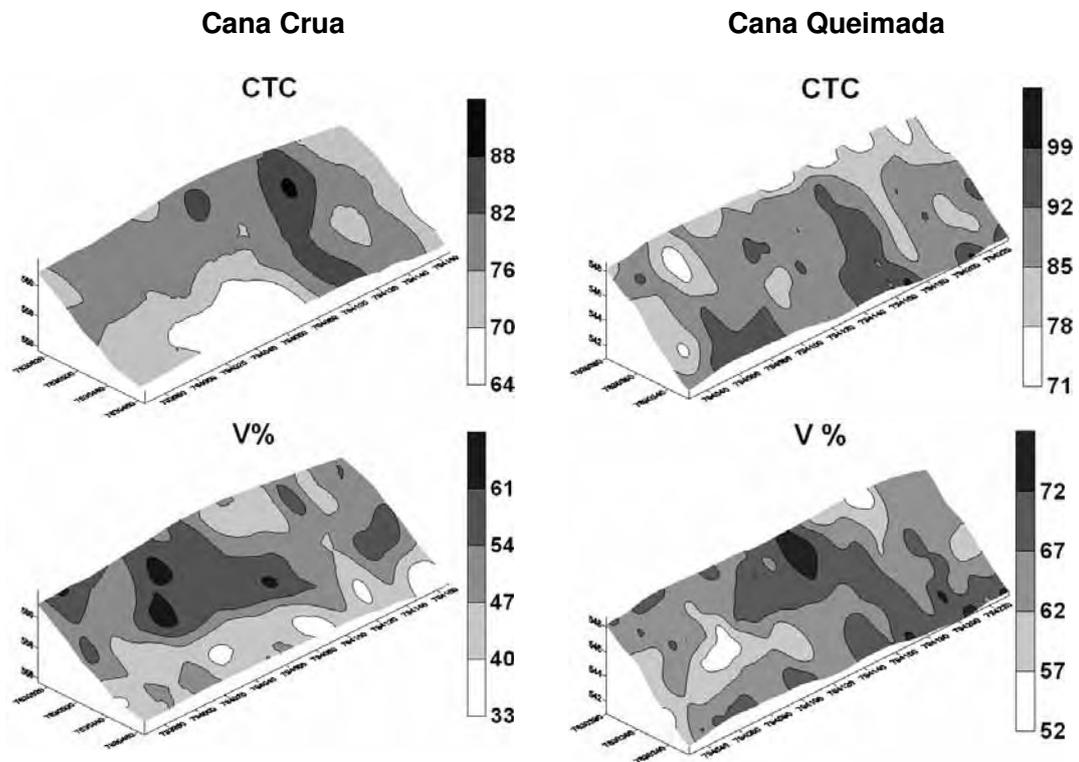


Figura 3. Mapas de isolinhas dos atributos químicos nas áreas de cana crua e cana queimada.

A cristalografia e os teores dos óxidos de ferro também apresentaram grande amplitude, com exceção do DMC da Hm no sistema de cana crua, que apresentou pequena variação de valores ao longo da área (Figura 4). Nos mapas do DMC da Gt percebe-se que os maiores valores encontrados na área de cana queimada estão bem próximos aos menores valores apresentados para a área de cana crua, indicando a grande diferença de cristalografia da goethita nos dois sistemas de colheita avaliados (Figura 4).

Com o objetivo de correlacionar alguns atributos estudados, foram construídos os semivariogramas cruzados fixando o P_{ads} e correlacionando-o espacialmente com outros atributos (Figuras 6 e 7). Foi encontrada uma correlação negativa entre a MO e o P_{ads} nas duas áreas estudadas (Figura 6), demonstrando a influência dos teores de MO na adsorção de fósforo e confirmando o que alguns pesquisadores têm demonstrado, ou seja, que esta pode competir com o íon fosfato pelos sítios de adsorção (HEREDIA

& CIRELLI, 2007; MESQUITA FILHO & TORRENT, 1993). Em ambos os sistemas de colheita houve uma correlação espacial positiva entre o P_{ads} e os teores de argila, concordando com os resultados de VALLADARES et al. (2003), que encontraram maior capacidade de adsorção de fósforo em locais com maiores teores de argila.

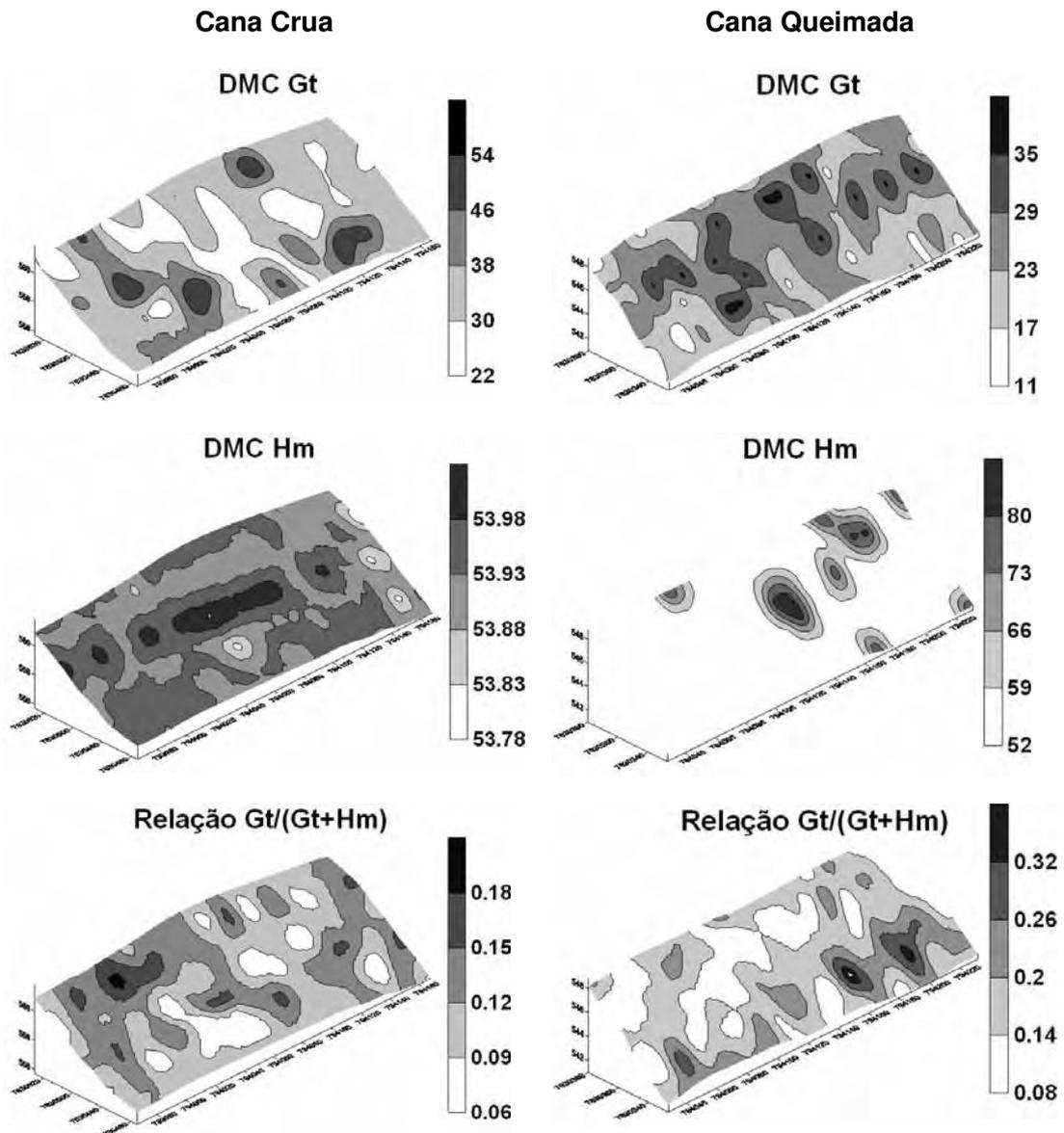


Figura 4. Mapas de isolinhas dos óxidos de ferro nas áreas de cana crua e cana queimada.

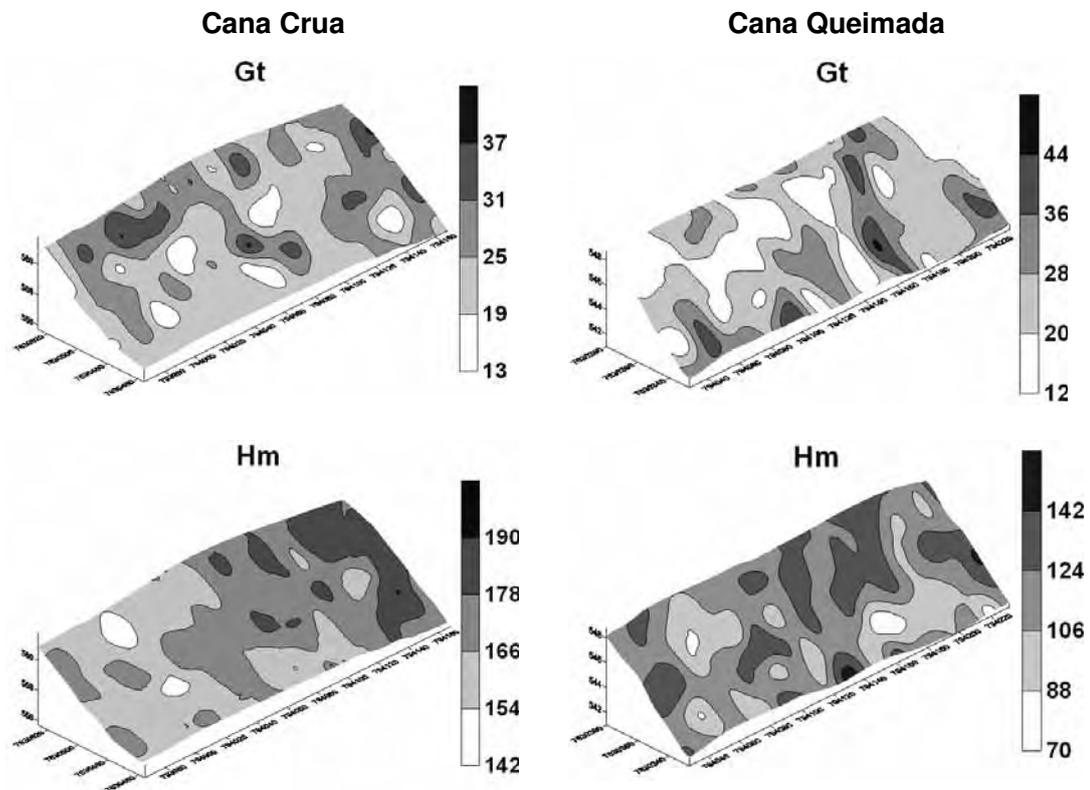


Figura 5. Mapas de isolinhas dos óxidos de ferro nas áreas de cana crua e cana queimada.

Já o DMC Gt apresentou uma correlação espacial negativa com o P_{ads} , ou seja, nos locais onde o DMC da Gt é maior a adsorção do fósforo é menor, demonstrando a importância da cristalografia da goethita na adsorção de fósforo (Figura 6). ROLIM NETO et al. (2004) ressaltam que as diferentes cristalinidades dos óxidos de ferro afetam sua superfície específica, a capacidade de troca de ânions e conseqüentemente a adsorção de fósforo e vários fenômenos de superfície. O DMC da Hm não apresentou correlação espacial com o P_{ads} em ambas as áreas avaliadas.

A relação $Gt/(Gt+Hm)$, o teor de Gt na área de cana queimada e o teor de Hm na área de cana queimada apresentaram correlação espacial positiva com a adsorção de fósforo (Figura 7), enquanto que o restante dos atributos que foram apresentados com os semivariogramas cruzados não apresentaram correlação espacial com o P_{ads} , ou seja, não interferem na capacidade do solo de adsorver fósforo (Figura 7).

SCHAFFRATH et al. (2008), estudando correlações entre atributos do solo através de semivariograma cruzado em áreas de preparo convencional e plantio direto, encontraram boa correlação espacial entre os atributos avaliados.

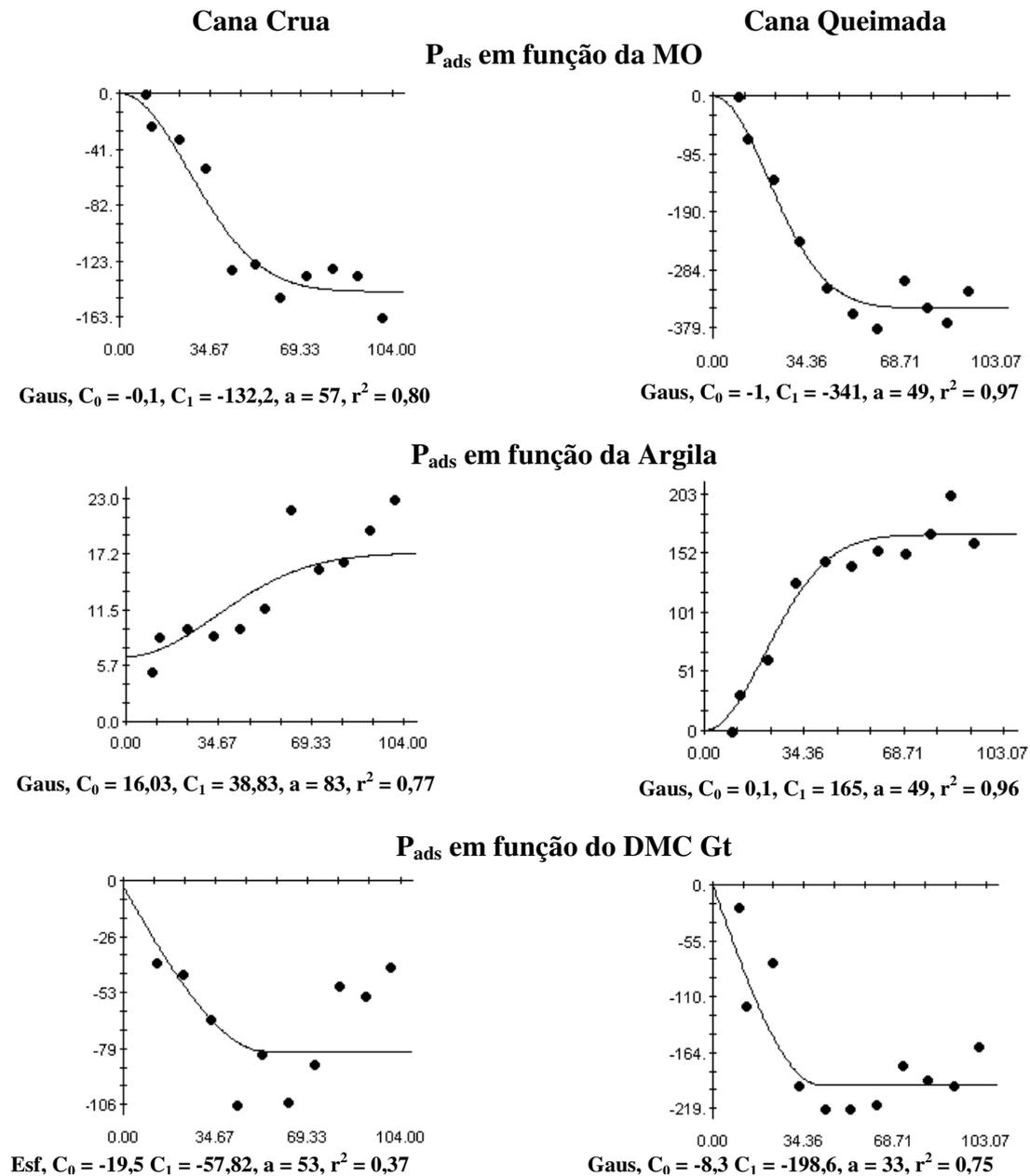


Figura 6. Semivariogramas cruzados dos atributos estudados. Gau.: gaussiano, Esf.: esférico; C_0 : efeito pepita; C_1 : patamar; a : alcance (m); R^2 : coeficiente de determinação.

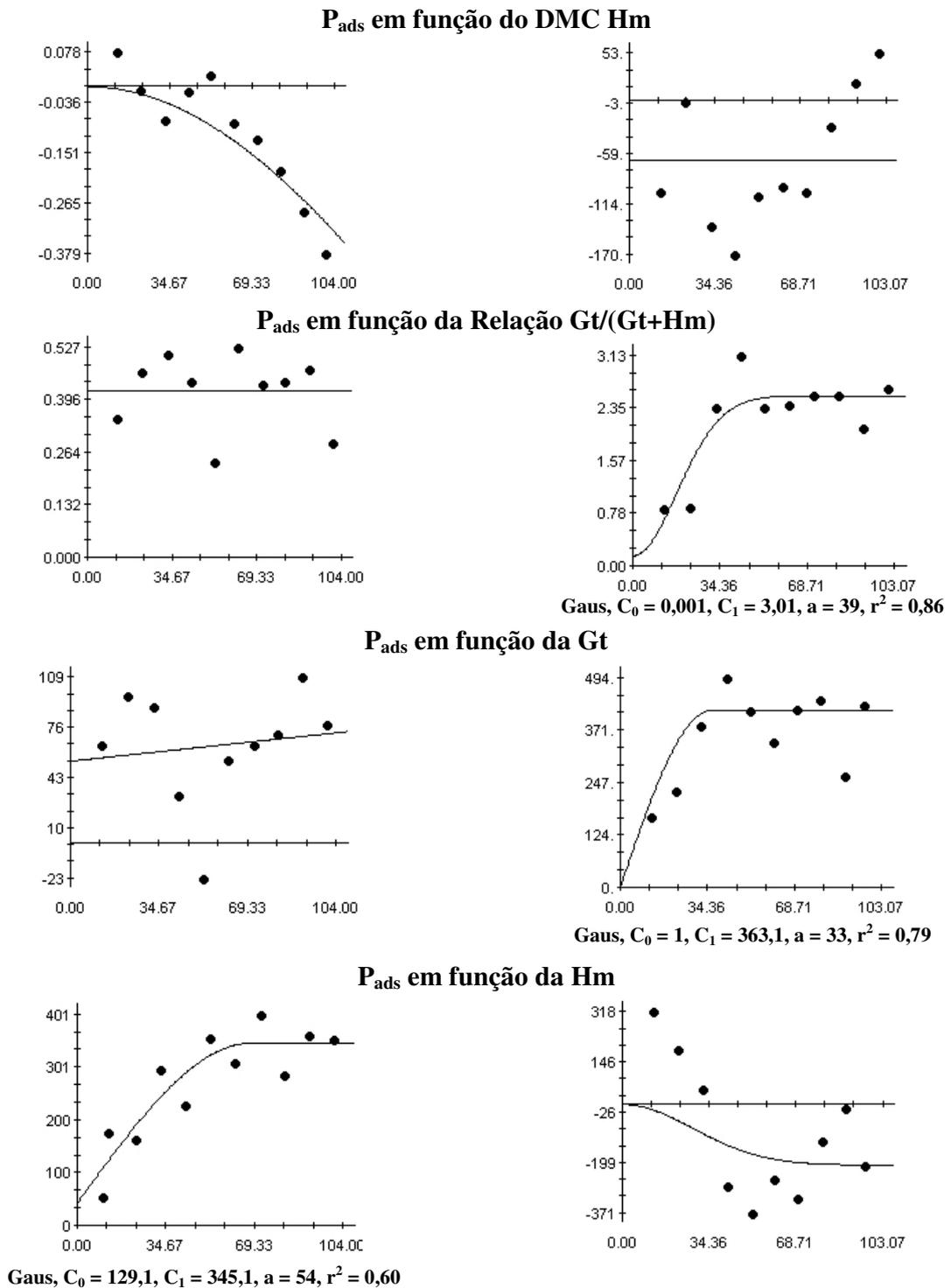


Figura 7. Semivariogramas cruzados dos atributos estudados. Gau.: gaussiano, Esf.: esférico; Co: efeito pepita; C1: patamar; a: alcance (m); R2: coeficiente de determinação.

4.4. Conclusões

A variabilidade espacial dos atributos químicos é maior em áreas com sistema de colheita de cana crua quando comparada com áreas de sistema de colheita de cana queimada, enquanto que os atributos cristalográficos e os teores dos óxidos de ferro apresentaram maior variabilidade espacial na área de cana queimada, com exceção da relação $Gt/(Gt+Hm)$.

Os mapas de isolinhas construídos pela krigagem permitiram visualizar a amplitude dos teores dos atributos avaliados nas duas áreas estudadas e podem servir como ferramenta para auxiliar no planejamento de um manejo de insumos mais racional e adequado.

Os atributos M.O. e DMC da Gt apresentaram correlação espacial negativa, enquanto que a Argila apresentou correlação positiva com a adsorção de fósforo nos dois sistemas de colheita de cana-de-açúcar avaliados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, A.S. & ANGHINONI, I. Alterações de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.695-702, 2001.
- ANGELICO, J. C. Desempenho da co-krigagem na determinação da variabilidade de atributos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.931-936, 2006.
- ARE, K.S.; OLUWATOSIN, G.A.; ADEYOLANU, O.D.; OKE, A.O. Slash and burn effect on soil quality of an Alfisol: Soil physical properties. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, n. 1, p.4-10, 2009.
- AUDE, M.I.S.; MARCHEZAN, P.L.; DARIVA, T.; PIGNATARO, L.H.B. Manejo do palhicho da cana-de-açúcar: efeito na produção de colmos industrializáveis e outras características agronômicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.23, p.281-286, 1993.
- BAHIA FILHO, A. F. C. **Índices de disponibilidade de fósforo em Latossolo do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1982, 179 f.
- BALL-COELHO, B.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, V.S.B. Residue management effects on sugarcane yield and soil properties in Northeastern Brazil. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, p.1004-1008, 1993.
- BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.4, p.645-653, 2008.
- BAUER, P. J.; FREDERICK, J. R.; NOVAK, J. M. & HUNT P. G. Soil CO₂ flux from a norfolk loamy sand after 25 years of conventional and conservation tillage. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.90, p.205–211, 2006.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a Sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping

- systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, n. 1-2, p.101-109, 2000.
- BERTOLANI, F.C.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.987-995, 2001.
- BHATTI, A.U.; MULLA, D.J.; FRAZIER, B.E. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. **Remote Sensing of Environment**. V.37, p.181-191, 1991.
- BIGHAM, J.M.; FITZPATRICK, R.W.; SCHULZE, D. Iron oxides. In: DIXON, J.B. & SCHULZE, D.G. Soil mineralogy with environmental applications. Madison, **Soil Science Society of America**, p.323-366, 2002. (Book Series, 7).
- BLAIR, N. Impact of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.55, p.183- 191, 2000.
- BRAUNACK, M.V.; PEATEY, T.C. Changes in soil physical properties after one pass of sugarcane haulout unit. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.39, p.733-742, 1999.
- BUSATO, J G.; CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X. Fósforo num Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. I - fracionamento seqüencial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.935-944, 2005.
- CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; HORVAT, R. A. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um latossolo sob diferentes formas do relevo. I - Mineralogia da fração argila. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.2269-2277, 2008(a).
- CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; HORVAT, R. A. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um latossolo sob diferentes formas do relevo. II - Correlação espacial entre mineralogia e agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.2269-2277, 2008(b).

- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.1501-1508, 1994.
- 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, v.25, p.189-198, 2005.
- CAMPOS, M. C. C. **Relação solo-paisagem em uma area de transição arenito-basalto na região de Pereira Barreto (SP)**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006. 130f.
- CAMPOS, L. H. F.; CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; FORTES, C.; SILVA, J. S. Crescimento e produtividade da cana-de-açúcar (Var. SP83-2847) submetida a três manejos da palhada. **Stab**, Piracicaba, v.26, p.33-36, 2008.
- CAMPOS, L. H. F.; CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; FORTES, C.; SILVA, J. S. Sistemas de manejo da palhada influenciam acúmulo de biomassa e produtividade da cana-de-açúcar (var. RB855453). **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.32, p.345-350, 2010.
- CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.935-944, 2003.
- CANELLAS, L. P.; BALDOTTO, M. A.; BUSATO, J.G.; MARCIANO, C. R.; MENEZES, S. C.; SILVA, N. M.; RUMJANEK, V. M.; VELLOSO, A.C. X.; SIMÕES, M. L.; MARTINETO, L. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.331-340, 2007.
- CARVALHO, S.R.; BRUAND, A.; HARDY, M.; LEPRUM, J.C.; JAMAGNE, M. Tassement des sols ferrallitiques Podzólico Vermelho Amarelo sous culture de canne à

sucre (état de Rio de Janeiro, Brésil): apport d'une analyse de la porosité associée a une connaissance détaillée de la phase minérale. *Cahiers ORSTOM Série Pedologie*, v.26, p.195-212, 1991.

CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.37, p.1151-1159, 2002.

CARVALHO JUNIOR, W., SCHAEFER, C.E.G.R., CHAGAS, C.S.YF.F., ELPÍDIO, I. Análise multivariada de Argissolos da faixa atlântica brasileira. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, Viçosa, v.32, p.2081-2090, 2008.

CASAGRANDE, J.C.; CAMARGO, O.A. Adsorção de fosfato em solos com caráter ácido validada por um modelo de complexação de superfície. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.21, p.353-360, 1997.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.31, p.1329-1339, 2007.

CEDDIA, M.B.; ANJOS, 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, p.1467-1473, 1999.

CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W.E.; MELILLO, J.M. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. *Scientia Agraria*, Curitiba, v.64, p.83-99, 2007.

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 Pedologie*, v.26, p.37-50, 1991.

CHANG, J.; CLAY, D.E.; CARLSON, C.G.; CLAY, S.A.; MALO, D.D.; BERG, R.; KLEINJAN, J.; WIEBOLD, W. Different techniques to identify management zones impact nitrogen and phosphorus sampling variability. *Agronomy Journal*, Madison, v.95, p.1.550-9, 2003.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; CARVALHO, S. J. P.; LÓPEZOVEJERO, R. F.; NICOLAI, M.; HIDALGO, E.; SILVA, J. E. Conservation of natural resources in Brazilian agriculture: implications on weed biology and management. **Crop Protection**, v.26, p.383-389, 2007.

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento, abril/2010**. Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília, 2010 (http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/1cana_de_acucar.pdf).

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.527-535, 2003.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York, John Wiley, 1991. 900p.

DIECKOW, J.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; ZANATTA, J.A.; MARTIN-NETO, L.; MILORI, D.B.M.; SALTON, J.C.; MACEDO, M. M.; MIELNICZUK, J.; HERNANI, L.C. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.60, p.240-249, 2009.

DICK, D. P. **Caracterização de óxidos de ferro e adsorção de fósforo na fração argila de horizontes B latossólicos**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1986. 196f.

EARL, R.; TAYLOR, J. C.; WOOD, G. A.; BRADLEY, I.; JAMES, L. T.; WAINE, T.; WELSH, J. P. GODWIN, R. J.; KNIGHT, S. M. Soil factors and their influence on within-field crop variability. Part I: Field observation of soil variation. **Biosystems Engineering**, v.4, n.84, p.425-440, 2003.

ELTZ, F.L.P.; PEIXOTO, R.T.G. & JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.13, p.259-267, 1989.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Brasília: Ministério da Agricultura e do Abastecimento / EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p.

- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2006. 412p.
- FITZPATRICK, R.W.; SCHWERTMANN, U. Al-Substituted goethite na indicator of pedogenic and other weathering environments in South Africa. **Geoderma**, Amsterdam, v.27, p335- 347,1982.
- FONTES, M.P.F.; WEED, S.B. Iron oxides in selected Brazilian oxissol: I. Mineralogy. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.55, p. 1143-1149, 1991.
- FONTES, M. P. F.; WEED, S. B. Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols: relationships with specific surface area and mineralogy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 72, p. 37-51, 1996.
- FRANZEN, D.W.; NANNA, T.; NORVELL, W.A. A survey of soil attributes in North Dakota by landscape position. **Agronomy Journal**, Madison, v.98, p.1.015-22, 2006.
- FURLANI NETO, V.L.; RIPOLI, T.C.; VILA NOVA, N.A. Biomassa de cana-de-açúcar: energia contida no palhicho remanescente de colheita mecânica. **Stab**, Piracicaba, v.15, p.24-27, 1997.
- GHIDIN, A.A.; MELO, V.F.; LIMA, V.C.; LIMA, J.M.J.C. Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. II – Relação entre mineralogia da fração argila e propriedades físicas dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.307-319, 2006.
- GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; MEYER, J.H. Changes in soil chemistry and aggregate stability induced by fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.53, p.589-598, 2002.
- GUILHERME, L. R. G.; CURI, N.; SILVA, M. L. N.; RENÓ, N. B.; MACHADO, R. A. F. Adsorção de fósforo em solos de várzea do estado de minas gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.27-34, 2000.
- GUIMARÃES, E.C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 77p.

- GUPTA, S.C. & ALLMARAS, R.R. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. **Advence Soil Science**, v.6, p.65-100, 1987.
- HEREDIA, O.S.; CIRELLI, A.F. Environmental risks of increasing phosphorus addition in relation to soil sorption capacity. **Geoderma**, Amsterdam, v.137, p.426-431, 2007.
- HERNÁNDEZ, J.; MEURER, E.J. Adsorção de fósforo e sua relação com formas de ferro em dez solos do Uruguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.223-230, 1998.
- INDA JUNIOR, A.V.; KÄMPF, N. Variabilidade de goethita e hematita via dissolução redutiva em solos de região tropical e subtropical. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.851-866, 2005.
- ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.
- JUO, A.S.R.; FOX, R.L. Phosphate sorption characteristics of some bench-mark soils of West Africa. **Soil Science**, Baltimore, v.124, p.370-376, 1977.
- KÄMPF, N.; CURI, N. Óxidos de Ferro: Indicadores de ambientes pedogênicos e geoquímicos. In: **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, SBCS, v.1 p.107-138, 2000.
- KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. Avaliação da estimativa de substituição de Fe por Al em hematitas de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p.209-213, 1998.
- KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in Southern Brazil and their application in classification of kaolinitic Soils. **Geoderma**, Amsterdam, v.29, p.27-39, 1982.
- KARATHANASIS, A.D.; WELLS, K.L. A comparison of mineral weathering trends between two management systems on a catena of loess-derived soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.53, p.582-588, 1989.
- KER, J.C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995. 181p.

- KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p.395-401, 1995.
- LAL, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.60, p.158-169, 2009.
- LEAL, J.R.; VELOSO, A.C.X. Phosphate adsorption in latosols under Cerrado vegetation. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.8, p.81-88, 1973.
- LUCA, E. F.; FELLER, C.; CERRI, C. C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D. C. & MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canaviais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.789-800, 2008.
- MACEDO, N.M.; BOTELHO, P.S.M.; CAMPOS, M.B.S. Controle químico de cigarrinha-da-raiz em cana-de-açúcar e impacto sobre a população de artrópodes. **Stab**, v.21, p.30-33, 2003.
- MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.591-599, 2007.
- MARQUES JUNIOR, J.; LEPSCH, I. F. Depósitos superficiais neocenoicos, superfícies geomórficas e solos em Monte Alto, SP. **Geociência**, v. 19, n. 02, p. 265-281, 2000.
- MATA, J.D.V. **Variabilidade espacial de indicadores da compactação de terra roxa estruturada, sob dois sistemas de preparo, cultivada com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado**. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1997. 73p.
- McBRATNEY, A.B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, v.37, p.617-639, 1986.
- MCCOOL, D.K.; PANNKUK, C.D.; KENNEDY, A.C.; FLETCHER, P.S. Effects of burn/low-till on erosion and soil quality. **Soil and Tillage Research**, v.101, p.2-9, 2008.

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

MESQUITA FILHO, M.V.; TORRENT, J. Phosphate sorption as related to mineralogy of a hydrosequence of soils from Cerrado Region (Brazil). **Geoderma**, Amsterdam, v.58, p.107-123, 1993.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F. & DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.209-248.

MILLER, M.P.; SINGER, M.J. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.52, p.1133-1141, 1988.

MILORI, D. M. B. P.; GALETI, H. V. A.; MARTIN-NETO, L.; DIECKOW, J.; GONZÁLEZ-PÉREZ, M.; BAYER, C. & SALTON, J. C. Organic matter study of whole soil samples using laser-induced fluorescence spectroscopy. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.70, p.57-63, 2006.

MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; SOUZA, Z. M.; CAMARGO, L. A. Caracterização mineralógica de latossolos em diferentes feições do relevo na região de Jaboticabal, SP. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.2, p.191-199, 2010.

MOTTA, P.E.F.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; VAN RAIJ, B.; FURTINI NETO, A.E.; LIMA, J.M. Adsorção e formas de fósforo em Latossolos: influencia da mineralogia e histórico de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 349-359, 2002.

MUGGLER, C.C. **Polygenetic oxisols on tertiary surfaces, Minas Gerais, Brazil**. Tese de Doutorado, Wageningen Agricultural University, Wageningen, 1998. 186p.

- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.7, p.95-102, 1983.
- NORRISH, K.; TAYLOR, R.M. The isomorphous replacement of iron by aluminium in soil goethites. **Journal of Soil Science**, v.12, p.294-306, 1961.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- OVALLES, F.; REY, J. Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de la depresión del Lago de Valencia. **Agronomía Tropical**, Madrid, v.44, n.1, p.41-65, 1994.
- PANOSSO, A.R.; MARQUES JR., J.; MILORI, D.M.B.P.; FERRAUDO, A.S.; BARBIERI, D.M.; PEREIRA, G.T. & LA SCALA JR., N. Soil CO₂ emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under Slash-and-burn and Green harvest. **Soil and Tillage Research**, v.111, p.190-196, 2011.
- 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 de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.911-917, 2004.
- RACHID JÚNIOR, A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G.; JOHANN, J. A. Variabilidade espacial e temporal de atributos químicos do solo e da produtividade da soja num sistema de agricultura de precisão. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.14, n.3, p.156-169, 2006.
- RAGAGNIN, V. A.; SENA JÚNIOR, D. G.; SILVEIRA NETO, A. N. Recomendação de calagem a taxa variada sob diferentes intensidades de amostragem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.6, p.600–607, 2010.
- RAIJ, B. van. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônômico, 2001. 285p.
- RAIJ, van B; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RESENDE, A.S.; SANTOS, A.; XAVIER, R.P.; COELHO, C.H.; GONDIM, A.; OLIVEIRA, O.C.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.937-941, 2006.

ROLIM NETO, F. C.; SCHAEFER, C.E.G.R.; COSTA, L. M.; CORRÊA, M. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; IBRAIMO, M. M. Adsorção de fósforo, superfície específica atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 953-964, 2004.

ROQUE, A. A. O.; SOUZA, Z. M.; BARBOSA, R. S.; SOUZA, G. S. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, p.744-750, 2010.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p.313-319, 1995.

SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* (L) em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.115-122, 1998.

SANYAL, S.K.; De DATTA, S.K. Chemistry of phosphorus transformations in soil. **Advence Soil Science**, v.16, p.1-120, 1991.

SANZONOWICZ, C. Recomendação e prática de adubação e calagem na região centro-oeste do Brasil. p.309-334. In: MATTOS, H.B., ed. Calagem e adubação de pastagens. Anais/editado. Piracicaba, **Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato**, 1986. 476p.

SCHAFFRATH, V. R.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GONÇALVES, A. C. A. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas de solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1369-1377, 2008.

- SCHLOEDER, C. A.; ZIMMERMAN, N. E.; JACOBS, M. J. Comparison of methods for interpolating soil properties using limited data. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, n.2, p.470-479, 2001.
- SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E. Efeito residual da adubação na cana-planta e da adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.811-820, 2010.
- SCHULZE, D.G. The influence of aluminium on iron oxides VIII. Unit-cell dimension of Al-substituted goethites and estimation of Al from them. **Clays and Clay Minerals**, v.32, p.36-44, 1984.
- SCHWERTMANN, U., CARLSON, L. Aluminium influence on iron oxides : XVII. Unit-cell parameters and aluminium substitution of natural goethites. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 256-261, 1994.
- SCHWERTMANN, U., KÄMPF, N. Properties of goethite and hematite in kaolinitic soils of Southern and Central Brazil. **Soil Science**, Baltimore, v.139, n.4, p.344-350, 1985.
- SCHWERTMANN, U. & TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B. Minerals in soil environments. **Soil Science Society of America**, Madison, p.379-438, 1989.
- SCHWERTMANN, U. Some properties of soil and synthetic iron oxides. In: STUCKI, J.W.; GOODMAN, B.A. & SCHWERTMANN, U. **Iron in soils and clay minerals**. Dordrecht, Reidel, p.203-250, 1988.
- SCHWERTMANN, U. Solubility and dissolution of iron oxides. **Plant Soil**, v.130, p.1-25, 1991.
- SILVA, A. J. N.; CABEDA, M S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. . **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.921-930, 2006.
- SILVA, F. M.; SOUZA, Z. M.; FIGUEIREDO, C. A. P.; VIEIRA, L. H. S.; OLIVEIRA, E. Variabilidade espacial dos atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 231-241, 2008.

SILVA NETO, L. F.; INDA, A. V.; BAYER, C.; DICK, D. P.; TONIN, A. T. Óxidos de ferro em latossolos tropicais e subtropicais brasileiros em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1873-1881, 2008.

SILVA NETO, L. F. **Óxidos de ferro, matéria orgânica e adsorção de fósforo em dois latossolos sob diferentes sistemas de manejo**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 2006. 75f.

SILVEIRA, P.M.; ZIMMERMANN, F.J.P.; SILVA, S.C.; CUNHA, A.A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.10, p. 2.057-64, 2000.

SINGH, B. & GILKES, R.J. Properties and distribution of iron oxides and their association with minor elements in the soils of south-western Australia. **Journal of Soil Science**, v.43, p.77-98, 1992.

SIQUEIRA, D.S. ; MARQUES JR., J. ; PEREIRA, G.T. The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. **Geoderma**, Amsterdam, v. 155, p. 55-66, 2010.

SOUZA, L.S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 1992. 162p.

SOUZA, Z.M.; PRADO, R. 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, p.271-278, 2005.

SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; CAMPOS, M. C. C. Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo na aplicação de insumos para a cultura de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n.2, p. 371-377, 2007.

SOUZA, Z. M. ; CERRI, D. G. P. ; COLET, M. J. ; Rodrigues, L. H. A; MAGALHÃES, P. S. G. ; MANDONI, R. J. A. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura

- de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, p. 840-847, 2010.
- TAVARES, O. C. H.; LIMA, E.; ZONTA, E. Crescimento e produtividade da cana planta cultivada em diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.32, p.61-68, 2010.
- TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; RIBON, A. A. Physical properties of dystrophic red latosol (oxisol) under different agricultural uses. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.925-933, 2010
- THEOCHAROPOULOS, S. P.; PETRAKIS, P. V.; TRIKATSOULA, A. Multivariate analysis of soil grid data as a soil classification and mapping tool: the case study of a homogeneous plain in Vagia, Viotia, Greece. **Geoderma**, Amsterdam, v. 77, n. 1, p. 63-79, 1997.
- TOKURA, A.M.; FURTINI NETO, A.E.; CURTI, N.; ALOVISI, A.A. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.1467-1476, 2002.
- TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S. & UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v.38, p.54-94, 1985.
- TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L.; RODRIGUES, J.C.S. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia-15N e uréia-15N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília,, v.30, p.1375-1385, 1995.
- VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.1, p.111-118, 2003
- VASCONCELOS, A.C.M. **Desenvolvimento do sistema radicular da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual**. Tese Doutorado - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002. 140f.
- VAUCLIN, S.; VIEIRA, S.R.; VACHAUD, G.; NIELSEN, D.R. The use of cokriging with limited field soil observations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.47, p.175-184, 1983.

- VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1. p.1-53.
- VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, p.51:1-75, 1983.
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. **Applications of soil physics**. New York, Academic Press, 1980. p.319-344.
- WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. **Statistical methods in soil and land resource survey**. Oxford, Oxford University Press, 1990.
- WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. **Advence Soil Science**, v.3, p.1-70, 1985.
- WEIRICH NETO, P. H.; SVERZUT, C. B.; SCHIMANDEIRO, A. Necessidade de fertilizante e calcário em área sob sistema plantio direto considerando variabilidade espacial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.338-343, 2006.
- YEMEFACK, M.; ROSSITER, D. G.; NJOMGANG, R. Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon. **Geoderma**, Amsterdam, v.125, p.117-143, 2005.
- ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; ARAÚJO, J. M.PEREIRA. Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em latossolos sob sistema plantio direto **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.389-400, 2010.