

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

**CORRELAÇÕES DE PEARSON E GEOESTATÍSTICAS  
ENTRE A PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR,  
ESTABELECIDADA EM DOIS MÉTODOS DE COLHEITA, E  
ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO**

***FLÁVIO CARLOS DALCHIAVON***  
*Engenheiro Agrônomo*

ILHA SOLTEIRA  
ESTADO DE SÃO PAULO  
AGOSTO - 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – ÁREA DE  
CONCENTRAÇÃO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO**

**CORRELAÇÕES DE PEARSON E GEOESTATÍSTICAS ENTRE A  
PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR, ESTABELECIDADA EM  
DOIS MÉTODOS DE COLHEITA, E ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS  
DO SOLO**

***FLÁVIO CARLOS DALCHIAVON***  
*Engenheiro Agrônomo*

**Orientador:** Prof. Dr. Morel de Passos e Carvalho

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia –  
UNESP - Campus de Ilha Solteira para a  
obtenção do título de DOUTOR EM  
AGRONOMIA, especialidade: Sistemas de  
Produção.

Ilha Solteira - SP  
Agosto/2012



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO:** Correlações de Pearson e Geoestatísticas entre a produtividade de cana-de-açúcar, estabelecida em dois métodos de colheita, e atributos físico-químicos do solo

**AUTOR:** FLAVIO CARLOS DALCHIAVON

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. MOREL DE PASSOS E CARVALHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA ,  
Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MOREL DE PASSOS E CARVALHO  
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI  
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. SALATIER BUZETTI  
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. CASSIANO GARCIA ROQUE  
Campus de Chapadão do Sul / Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Prof. Dr. RAFAEL MONTANARI  
Campus de Aquidauana / Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul

Data da realização: 07 de agosto de 2012.

## FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação  
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

D138c Dalchiavon, Flávio Carlos.  
Correlações de Pearson e geoestatísticas entre a produtividade de cana-de-açúcar, Estabelecida em dois métodos de colheita, e atributos físico-químicos do solo / Flávio Carlos Dalchiavon. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2012  
107 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2012

Orientador: Morel de Passos e Carvalho  
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar. 2. Produção sucroalcooleira. 3. Solos – Manejo. 4. Solos - Conservação. 5. Sustentabilidade ambiental. 6. Agricultura de precisão. 7. Krigagem. 8. Mapas de krigagem.

Dedico esta conquista à minha família, meu pai **Hilário Dalchiavon**, minha mãe **Lourdes Pasqualetto Dalchiavon**, aos meus irmãos, aos meus sobrinhos - Yago, Gabriely, Júnior e Isabelly, e, em especial, a meu amor **Graciele Neves**. Estes que foram, e sempre serão, meu alicerce por essa longa e incessante jornada em busca dos ideais da vida, orientando-me ao sucesso pessoal/profissional e ensinando-me os valores e princípios morais que enaltecem o homem.

DEDICO

## AGRADEÇO...

A **DEUS**, que nos momentos difíceis me estendia as mãos, transmitindo conforto, proteção, segurança e paz;

A minha Família, sempre presente em minha vida;

À Graciele Neves, pelos momentos de carinho, afeto, aconchego, amor e paz;

Ao orientador e amigo professor Dr. Morel de Passos e Carvalho, pelas constantes trocas de conhecimentos e experiências;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão de bolsa de doutorado, e à Usina Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar, pelo apoio e oportunidade de realização desta pesquisa;

A todos os professores da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, pelas valiosas contribuições para a realização deste trabalho;

Aos parceiros de pesquisa, Edjair Augusto Dal Bem, Mateus Defavari Sarto, Diego Genuário Gomes e Fabiana Morbi Fernandes, pela contribuição na coleta de dados;

Aos Técnicos Laboratoriais Carlos Araújo da Silva, Ronaldo Cintra e Valdevino dos Santos, pelo auxílio nas atividades de campo e/ou laboratoriais;

A todos os funcionários da Usina Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar, que contribuíram com este experimento;

E a todos que não foram citados, mas que de alguma forma foram importantes para a realização deste trabalho;

Meus sinceros agradecimentos, e vos digo...

...sem vossas preciosas contribuições, mais difícil seria a superação desse importante desafio em minha vida.

**MUITO OBRIGADO!!!**

*... é sabendo que se sabe pouco  
que uma pessoa se prepara para saber mais.*

*Se tivéssemos um saber absoluto,  
já não poderíamos continuar sabendo,  
pois que este seria um saber  
que não estaria sendo.*

*Quem tudo soubesse já não poderia saber,  
pois não indagaria.*

*O homem, como um ser histórico,  
inserido num permanente movimento de procura,  
faz e refaz constantemente o seu saber.*

*E é por isto que todo saber  
se gera num saber que passou a ser velho,  
o qual, anteriormente, gerando-se num outro saber  
que também se tornara velho,  
se havia instalado como saber novo...*

*Paulo Freire*

DALCHIAVON, F.vC. **Correlações de Pearson e geoestatísticas entre a produtividade de cana-de-açúcar, estabelecida em dois métodos de colheita, e atributos físico-químicos do solo.** Ilha Solteira, 2012. 112vf. Tese. (Doutorado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012.

## RESUMO

A cultura da cana-de-açúcar desempenha, frente à realidade brasileira, sobretudo no aspecto relacionado às fontes energéticas alternativas, importantíssimo papel. Assim, num talhão de cana-de-açúcar (variedade RB855035, em seu terceiro corte) da Usina Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar, localizada no município de Rubinéia (SP), Brasil, 20°17'53'' de Latitude Sul e 51°02'23'' de Longitude Oeste, manejado para duas formas de colheita da cana-crua (com manutenção e com remoção da palhada), foram estudadas as correlações (lineares de Pearson e as geoestatísticas) entre a produtividade de colmos e atributos físico-químicos do solo, com os objetivos de verificar, entre as duas modalidades de colheita da cana-crua: a) o atributo do solo que possui a melhor correlação de Pearson com a produtividade da cana-de-açúcar; b) o atributo do solo que possui a melhor cokrigagem (correlação geoestatística) com a produtividade da cana-de-açúcar; e c) analisar se há diferença entre os dois métodos de colheita de cana-crua. Para tanto, foram instaladas duas malhas geoestatísticas regulares, contendo cada uma 1,30 ha com 121 pontos amostrais georreferenciados, em um Argissolo Vermelho eutrófico (declive homogêneo de 0,065 m m<sup>-1</sup>), no ano de 2011. Os atributos avaliados das plantas foram: a) produtividade de colmos de cana-de-açúcar, b) plantas por metro, c) quantidade de palhada sobre o solo, d) estoque de carbono na palhada, e e) açúcares totais recuperáveis. Os do solo foram: a) resistência mecânica à penetração, b) umidade gravimétrica, c) densidade, d) estoque de carbono, e e) pH (CaCl<sub>2</sub>), nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, além da altitude do terreno. A análise estatística dos dados ficou compreendida de análise descritiva, teste F, análise das correlações lineares e análise geoestatística. Para a colheita da cana-crua com manutenção da palhada, a densidade, na profundidade de 0-0,20 m, foi o atributo do solo que apresentou a melhor correlação de Pearson direta com a produtividade da cana-de-açúcar, assim como para a correlação geoestatística inversa na profundidade de 0,20-0,40 m. Para a colheita da cana-crua com remoção da palhada, a altitude do terreno foi o atributo do solo que apresentou a melhor correlação, tanto de Pearson direta quanto geoestatística inversa, com a produtividade da

cana-de-açúcar. Em relação aos atributos da planta, em ambos os tratamentos a população foi o que apresentou a melhor correlação, tanto de Pearson quanto geoestatística, com a produtividade da cana-de-açúcar. A colheita da cana-crua com manutenção da palhada foi o tratamento que possibilitou os melhores resultados, tanto com relação aos atributos da planta quanto àqueles relacionados ao solo.

**Palavras-chave:** *Saccharum spp.* Produção sucroalcooleira. Manejo e conservação do solo. Sustentabilidade ambiental. Agricultura de precisão. Mapas de krigagem.

**DALCHIAVON, F. C. Pearson and geostatistics correlations between productivity of sugar cane, established in two harvesting methods, and physical and chemical attributes of soil.** Ilha Solteira, 2012. 112 p. Tesis. (Doctor Degree of Systems of Production) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012.

### **ABSTRACT**

The sugarcane crop play a very important role on the Brazilian reality, mainly in the aspect related to the alternative sources. So, in a sugarcane area (variety RB855035, third cut) at Vale do Paraná S/A Alcohol and sugar destillary, lacated in Rubinéia-SP, Brazil, 20°17'53"S and 51°02'23"W, managed for two forms of harvest of the raw cane (with maintenance and with removal of the straw) they were studied the correlations (linear of Pearson and the geostatistical) between the productivity of stems and physiochemical attributes of the soil, with the objectives of verifying, between the two modalities of crop of the raw cane: a) the attribute of the soil that provides the best correlation of Pearson with the productivity of the sugarcane; b) the attribute of the soil that provides the best cokriging (correlation geoestatistical) with the productivity of the sugarcane; and c) to analyze if there is difference between the two methods of crop of raw cane. For this were installed two regular geoestatistical meshes containing each one 1.30 ha with 121 sampling from a Typic Haplustult (homogeneous slope of 0.065 m m<sup>-1</sup>), in 2011. The appraised attributes of the plants were: a) productivity of sugarcane stems, b) plants for meter, c) amount of straw on the soil, d) stock of carbon in the straw, and e) recoverable total sugar content in sugarcane. The attributes of the soil were: a) mechanical resistance to the penetration, b) gravimetric moisture, c) bulk density, d) stock of carbon, and e) pH (CaCl<sub>2</sub>), at depths of 0-0.20 and 0.20-0.40 m, besides the altitude of the land. The statistical analysis of the data was performed by descriptive analysis, test F, analysis of the linear correlation and geostatistical analysis. For the crop of the raw cane with maintenance of the straw, the bulk density, at depth of 0-0.20 m, was the attribute of the soil that presented the best correlation of Pearson direct with the productivity of the sugarcane, as well as for the inverse geostatistical correlation at depth of 0.20-0.40 m. For the crop of the raw cane with removal of the straw, the altitude of the land was the attribute of the soil that presented the best correlation, as much of Pearson direct as inverse geostatistical, with the productivity of the sugarcane. In relation to the attributes of the plant, in both treatments the population was that presented the best correlation, as much of

Pearson as geostatistical, with the productivity of the sugarcane. The crop of the raw cane with maintenance of the straw was the best result, as regarding the attributes of the plant as those related to the soil.

**Keywords:** *Saccharum spp.* Sugar and ethanol production. Conservation and management of soil. Environmental sustainability. Precision agriculture. Kriging charts.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Exemplo de semivariograma experimental .....	26
Figura 2:	Precipitação pluvial e médias térmicas, obtidas na área experimental, durante o período de julho de 2010 a julho de 2011.....	31
Figura 3:	Caracterização inicial do solo pesquisado .....	33
Figura 4:	Curva da resistência mecânica à penetração (RP) e valores da umidade gravimétrica até a profundidade (P) do solo de 0,60 m.....	35
Figura 5:	Imagem da área que recebeu o T1 (a), o T2 (b), e do ancinho enleirando a palhada (c) .....	36
Figura 6:	Esquema das malhas experimentais de campo com os 121 pontos amostrais.....	37
Figura 7:	Secagem (a), destorroamento das amostras de solo (b) e determinações do pH (c,d) e do teor de matéria orgânica do solo (e,f).....	42
Figura 8:	Colheita (a), pesagem dos colmos (b) e avaliação da quantidade de palhada sobre o solo (c,d).....	43
Figura 9.	Exemplos de semivariogramas: (a) não-estacionário e (b) estacionário .....	43
Figura 10:	Equações de regressão entre atributos da cana-de-açúcar e de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada .....	63
Figura 11:	Equações de regressão entre atributos de um Argissolo Vermelho eutrófico (ALT, UG2, EC1 e EC2) de Rubinéia (SP) sob cultivo de cana-de-açúcar com manutenção da palhada.....	64
Figura 12:	Equações de regressão entre atributos da cana-de-açúcar (Pro, Ppm, Qps e Ecp) em um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada .....	66

Figura 13: Equações de regressão entre atributos da cana-de-açúcar (Ppm, Qps, Ecp e Atr) em um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada .....	67
Figura 14: Equações de regressão entre a produtividade da cana-de-açúcar e atributos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada.....	68
Figura 15: Equações de regressão entre atributos físico-químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) sob cultivo de cana-de-açúcar com remoção da palhada .....	69
Figura 16: Semivariogramas simples de atributos da cana-de-açúcar e da altitude de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada.....	76
Figura 17: Semivariogramas simples de atributos físicos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada .....	77
Figura 18: Semivariogramas simples de atributos químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada .....	78
Figura 19: Semivariogramas simples de atributos da cana-de-açúcar e da altitude em um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada.....	81
Figura 20: Semivariogramas simples de atributos físicos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada.....	82
Figura 21: Semivariogramas simples de atributos químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada.....	83
Figura 22: Mapas de krigagem de atributos da cana-de-açúcar e de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada .....	86
Figura 23: Mapas de krigagem de atributos da cana-de-açúcar e de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada.....	88

Figura 24: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da PRO em função de PPM em um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada.....	90
Figura 25: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da PRO em função da DS2 de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada.....	91
Figura 26: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da £Pro em função de £Ppm em um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada .....	94
Figura 27: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da £Pro em função da £Alt em um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada .....	95
Figura 28: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem do Ec1 em função da #Alt em um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada .....	96

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Atributos físico-químicos da caracterização inicial do Argissolo Vermelho eutrófico típico de Rubinéia (SP).....	34
Tabela 2:	Características da variedade RB855035.....	38
Tabela 3:	Análise descritiva de atributos da cana-de-açúcar em um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada.....	45
Tabela 4:	Análise descritiva de atributos físico-químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada.....	46
Tabela 5:	Análise descritiva de atributos da cana-de-açúcar em um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada .....	50
Tabela 6:	Análise descritiva de atributos físico-químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada .....	51
Tabela 7:	Teste F aplicado aos atributos da cana-de-açúcar e de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção e remoção da palhada .....	54
Tabela 8:	Matriz de correlação dos atributos da cana-de-açúcar e físico-químicos, na profundidade de 0-0,20 m, de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada .....	57
Tabela 9:	Matriz de correlação dos atributos da cana-de-açúcar e físico-químicos, na profundidade de 0,20-0,40 m, de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada .....	58
Tabela 10:	Matriz de correlação dos atributos da cana-de-açúcar e físico-químicos, na profundidade de 0-0,20 m, de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada .....	59

Tabela 11: Matriz de correlação dos atributos da cana-de-açúcar e físico-químicos, na profundidade de 0,20-0,40 m, de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada .....	60
Tabela 12: Análise da variância dos resíduos da regressão linear múltipla da PRO em função dos atributos da cultura da cana-de-açúcar e físicos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada .....	71
Tabela 13: Análise da variância dos resíduos da regressão linear múltipla da Pro em função dos atributos da cultura da cana-de-açúcar e físico-químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada.....	72
Tabela 14: Parâmetros dos semivariogramas simples e validações cruzadas para os atributos da cana-de-açúcar e físico-químicos, nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada .....	75
Tabela 15: Parâmetros dos semivariogramas simples e validações cruzadas para os atributos da cana-de-açúcar e físico-químicos, nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada.....	80
Tabela 16: Parâmetros dos semivariogramas cruzados e validações cruzadas para os atributos da cana-de-açúcar e de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada.....	89
Tabela 17: Parâmetros dos semivariogramas cruzados e validações cruzadas para os atributos da cana-de-açúcar e de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada .....	93

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>20</b>
2.1	ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	20
2.2	A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR E O SEQUESTRO DE CARBONO (C).....	21
2.3	QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	22
2.4	ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO.....	22
2.5	A GEOESTATÍSTICA NA PESQUISA AGRONÔMICA.....	25
<b>2.5.1</b>	<b>Semivariograma .....</b>	<b>25</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Interpolação dos dados por krigagem ordinária.....</b>	<b>28</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Semivariograma cruzado .....</b>	<b>28</b>
<b>2.5.4</b>	<b>Cokrigagem .....</b>	<b>29</b>
<b>2.5.5</b>	<b>A agricultura de precisão .....</b>	<b>29</b>
<b>2.5.6</b>	<b>A cultura da cana-de-açúcar e a geoestatística.....</b>	<b>30</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ORIGEM DOS DADOS .....	31
3.2	CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO SOLO PESQUISADO .....	31
3.3	IMPLANTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS MALHAS EXPERIMENTAIS DE CAMPO.....	32
3.4	CARACTERÍSTICAS DA VARIEDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR RB855035.....	38
3.5	COLETA DOS DADOS E METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS PESQUISADOS.....	39
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA E GEOESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS PESQUISADOS .....	40
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
4.1	ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS .....	44
<b>4.1.1</b>	<b>Manutenção da palhada .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1.1.1</b>	<b><i>Distribuição de frequência dos atributos .....</i></b>	<b>44</b>

4.1.1.1.1	<i>Atributos da planta</i> .....	44
4.1.1.1.2	<i>Atributos do solo</i> .....	44
<b>4.1.1.2</b>	<b>Valores médios dos atributos</b> .....	<b>45</b>
4.1.1.2.1	<i>Atributos da planta</i> .....	45
4.1.1.2.2	<i>Atributos do solo</i> .....	47
<b>4.1.2</b>	<b>Remoção da palhada</b> .....	<b>49</b>
4.1.2.1	<i>Distribuição de frequência dos atributos</i> .....	49
4.1.2.1.1	<i>Atributos da planta</i> .....	49
4.1.2.1.2	<i>Atributos do solo</i> .....	49
4.1.2.2	<i>Valores médios dos atributos</i> .....	51
4.1.2.2.1	<i>Atributos da planta</i> .....	51
4.1.2.2.2	<i>Atributos do solo</i> .....	52
<b>4.1.3</b>	<b>Análise da distribuição de frequência e valores médios entre os tratamentos</b> .....	<b>53</b>
4.2	ANÁLISE DA SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA ENTRE OS ATRIBUTOS DOS TRATAMENTOS SOB MANUTENÇÃO E REMOÇÃO DA PALHADA .....	53
<b>4.2.1</b>	<b>Atributos da planta</b> .....	<b>53</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Atributos do solo</b> .....	<b>54</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Comparações entre os tratamentos</b> .....	<b>55</b>
4.3	ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE OS ATRIBUTOS .....	55
<b>4.3.1</b>	<b>Regressão linear simples</b> .....	<b>55</b>
4.3.1.1	<i>Matriz de correlação linear simples entre os atributos</i> .....	55
4.3.1.1.1	<i>Manutenção da palhada</i> .....	55
4.3.1.1.2	<i>Remoção da palhada</i> .....	58
4.3.1.2	<i>Regressão linear simples entre os atributos</i> .....	61
4.3.1.2.1	<i>Manutenção da palhada</i> .....	61
4.3.1.2.2	<i>Remoção da palhada</i> .....	62
<b>4.3.2</b>	<b>Regressão linear múltipla entre os atributos (stepwise)</b> .....	<b>70</b>
4.3.2.1	<i>Manutenção da palhada</i> .....	70
4.3.2.2	<i>Remoção da palhada</i> .....	70
<b>4.3.3</b>	<b>Comparação entre os tratamentos</b> .....	<b>72</b>
4.4	ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS .....	73
<b>4.4.1</b>	<b>Análise semivariográfica simples</b> .....	<b>73</b>

<b>4.4.1.1</b>	<b><i>Ajuste dos semivariogramas simples dos atributos</i></b> .....	<b>73</b>
4.4.1.1.1	<i>Manutenção da palhada</i> .....	73
4.4.1.1.2	<i>Remoção da palhada</i> .....	79
4.4.1.1.3	<i>Comparações entre os tratamentos</i> .....	83
<b>4.4.1.2</b>	<b><i>Validação cruzada dos semivariogramas simples ajustados</i></b> .....	<b>84</b>
4.4.1.2.1	<i>Manutenção da palhada</i> .....	84
4.4.1.2.2	<i>Remoção da palhada</i> .....	84
4.4.1.2.3	<i>Comparações entre os tratamentos</i> .....	84
<b>4.4.1.3</b>	<b><i>Mapas de krigagem dos atributos</i></b> .....	<b>85</b>
4.4.1.3.1	<i>Manutenção da palhada</i> .....	85
4.4.1.3.2	<i>Remoção da palhada</i> .....	87
<b>4.4.2</b>	<b><i>Análise semivariográfica cruzada</i></b> .....	<b>88</b>
<b>4.4.2.1</b>	<b><i>Ajuste dos semivariogramas cruzados e mapas de cokrigagens dos atributos</i></b> .....	<b>88</b>
4.4.2.1.1	<i>Manutenção da palhada</i> .....	88
4.4.2.1.2	<i>Remoção da palhada</i> .....	92
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>97</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>98</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em vários países que cultivam a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), é comum queimar o canavial antes de realizar a colheita, pois a queima da densa biomassa (palhada) torna mais fácil o corte manual dos colmos (LUCA et al., 2008). Este sistema elimina praticamente toda a palhada produzida e acumulada na área. Entretanto, no sistema de colheita da cana-crua, as folhas secas, os ponteiros e as folhas verdes são cortados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura morta, que modifica o ambiente em vários aspectos, como a proteção do solo contra erosão, conservação da umidade, aumento da atividade microbiana, suspensão da operação da queima e seu enriquecimento em matéria orgânica que, por conseguinte, pode influenciar positivamente os atributos físico-químicos do solo.

Nas áreas de produção agrícola, a compactação do solo pode reduzir a penetração das raízes por ocasionar aumento de sua densidade em consequência da redução do seu volume, resultando na expulsão de ar dos poros do solo, o que altera o equilíbrio na proporção de gases do solo e a disponibilidade de água e nutrientes às plantas, restringindo a produção vegetal. Segundo Bengough et al. (2001), a resistência à penetração do solo, que mede o seu grau de compactação, é influenciada, dentre outros fatores, pelo teor de matéria orgânica, pela densidade e pelo índice de água do solo. Portanto, a avaliação da densidade e da resistência à penetração do solo, pode auxiliar na determinação do grau de compactação, estabelecida no perfil do solo, e do consequente efeito desta sobre o desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar, possibilitando estabelecer valores críticos de restrições ao crescimento das raízes e diminuição da produtividade.

Uma prática de extrema relevância e que tem sido utilizada por muitas indústrias sucroalcooleiras brasileiras é o recolhimento da palhada das lavouras logo após a colheita da cana-crua para sua utilização como matéria-prima na geração de energia elétrica comercializável pela usina. Entretanto, ainda não se sabe da viabilidade do método para a realidade regional, uma vez que essa palhada retirada do campo poderia contribuir para melhorias físicas, químicas e biológicas do solo, tornando-se necessário estudar a possibilidade de se conciliar tais práticas, tendo em vista que a compreensão da dinâmica desta palhada e os efeitos de sua retirada na qualidade do solo são necessários dentro deste novo manejo das áreas de produção.

A geoestatística analisa a dependência espacial de dados georreferenciados, aos quais é ajustado o semivariograma, representado pelo gráfico da semivariância em função das distâncias entre observações no terreno. A partir dele pode-se confeccionar o mapa de

krigagem para cada atributo pesquisado, do solo ou da planta, que representa a variabilidade espacial dos dados. Contudo, havendo afinidade entre as dependências espaciais de dois atributos quaisquer, modelada pelo semivariograma cruzado, pode-se obter o mapa de cokrigagem para o atributo principal, de difícil obtenção e de maior interesse, em função do atributo secundário, normalmente de mais fácil obtenção (DALCHIAVON et al., 2011a; MOLIN et al., 2007; MONTANARI et al., 2010, 2012).

Desta forma, valendo-se da geoestatística, a análise da variabilidade do solo pode indicar alternativas de manejo para minimizar os efeitos da variabilidade do solo sobre a produção da cana-de-açúcar, assim como possibilitar estimá-la sob determinadas práticas de manejo (DALCHIAVON et al., 2011a). Avanços tecnológicos na agropecuária têm mostrado a importância de se conhecer a variação espacial de propriedades do solo que afetam a produtividade das culturas, visando otimizar o aproveitamento de recursos e diminuição de custos.

Assim, considerando o atual e substancial avanço da cultura canavieira no noroeste do estado de São Paulo, os objetivos deste trabalho foram verificar, entre as duas modalidades de colheita da cana-crua de 3º ciclo: a) o atributo do solo que possui a melhor correlação de Pearson com a produtividade da cana-de-açúcar; b) o atributo do solo que possui a melhor cokrigagem (correlação geoestatística) com a produtividade da cana-de-açúcar; e c) analisar se há diferença entre os dois métodos de colheita de cana-crua.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma gramínea semiperene da família *Poaceae*, metabolismo C4, que têm por característica o desenvolvimento em forma de touceira e ciclo semi-perene. Sua parte aérea é formada por colmos, folhas, inflorescência e frutos. Esses dois últimos são importantes para o melhoramento genético, contudo, exercem influência negativa na produção comercial. Após o plantio, seu ciclo fenológico é caracterizado pelos seguintes estágios: 1) brotação dos toletes, 2) perfilhamento, 3) crescimento dos colmos ou perfilhos e 4) maturação (SEGATO et al., 2006).

Do ponto de vista ecofisiológico, segundo Casagrande (1991), os estádios fenológicos da cana-de-açúcar necessitam ação climática diferenciada, sendo que, para brotação do tolete, temperaturas entre 25 e 33 °C, aliadas a não deficiência hídrica, são as condições primordiais. Para o perfilhamento, novamente, temperaturas em torno de 30 °C, não deficiência hídrica aliada à maior quantidade de horas de luz, incrementam o número de perfilhos. Na fase crescimento vegetativo, do mesmo modo, a não deficiência hídrica e temperaturas em torno de 30 °C, são primordiais ao bom crescimento do colmo, tanto em extensão quanto em diâmetro. Por ser uma planta C4, nesse estágio a cana-de-açúcar responde bem em aumento de massa e tamanho, sobretudo, em função da maior luminosidade incidente (horas de luz/dia). Na fase de maturação, estágio ideal para a colheita, temperaturas noturnas mais amenas, em relação às diurnas, incrementam o acúmulo de sacarose. As condições climáticas ideais para este estágio são de estresse hídrico (ausência de chuva) e temperaturas médias, principalmente a noite, abaixo de 25 °C.

A parte subterrânea é formada por raízes fasciculadas e rizomas, com função de sustentação e absorção de água e nutrientes, concentrando 85% de sua quantidade total nos primeiros 0,50 m de profundidade do solo, e nos primeiros 0,30 m, 60% do total (MOZAMBANI et al., 2006). Segundo Scapari e Beauclair (2008), a cana planta (cana-de-açúcar no primeiro corte) explora mais as camadas superficiais comparando-se com a soqueira (cana-de-açúcar a partir do primeiro corte), que apresenta um incremento na exploração do solo em subsuperfície. A cana planta apresenta menos raízes, mas sua eficiência de absorção é maior com raízes novas e tenras, já a soqueira, com raízes mais velhas e lignificadas, tem arquitetura que varia com a idade e o número de ciclos da cultura.

A importância da cana-de-açúcar para o Brasil, bem como para o estado de São Paulo, é inquestionável, sendo a principal matéria-prima para a produção do etanol utilizado pelos veículos automotores, além da sua destinação para a produção do açúcar, um dos principais produtos de exportação nacional. De acordo com dados da COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB (2011), na safra de 2011, a produção nacional chegou à 623,9 milhões de toneladas de colmos, sendo que o estado de SP participou com 57,8% desta (360,6 milhões de toneladas), numa área de 4,36 milhões de hectares, com a produtividade média em torno  $83,0 \text{ t ha}^{-1}$ .

## 2.2 A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR E O SEQUESTRO DE CARBONO (C)

A cana-de-açúcar, por ter metabolismo C<sub>4</sub>, apresenta elevada taxa fotossintética, o que a torna muito eficiente no sequestro e utilização do CO<sub>2</sub> atmosférico. A sua palhada funciona como o compartimento sequestrador de C atmosférico, uma vez que sua produção foi efetuada no processo fotossintético de assimilação de CO<sub>2</sub> (LUCA et al., 2008). A cultura fixa em torno de 100 mg de CO<sub>2</sub> por dm<sup>2</sup> de área foliar por hora. Para cada tonelada de C sequestrado na sua fitomassa, corresponde o equivalente a uma mitigação de 3,67 t de CO<sub>2</sub> da atmosfera (NISHI et al., 2005). Assim, considerando a produção média de  $71,61 \text{ t ha}^{-1}$  de fitomassa de cana obtida por Paula et al. (2010), equivalente a  $14,55 \text{ t ha}^{-1}$  de C acumulado ( $9,21 \text{ t ha}^{-1}$  de C nos colmos,  $4,49 \text{ t ha}^{-1}$  de C na palhada e  $0,85 \text{ t ha}^{-1}$  de C nas raízes), constata-se que o produtor canavieiro, ao concluir o ciclo da cultura, terá gerado um ativo ambiental com um crédito de  $53,40 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de eqCO<sub>2</sub> ( $14,55 \text{ t ha}^{-1}$  de C acumulado x  $3,67 \text{ t de CO}_2$  sequestrado da atmosfera).

Por outro lado, Campos (2003) avaliou a potencialidade do sistema de colheita da cana-de-açúcar sem queima e relatou valores distintos para o sequestro do C em dois solos, sendo observado uma deposição média anual de palhada da ordem de  $13,9 \text{ t ha}^{-1}$  para as áreas sobre um Latossolo Vermelho e  $12,8 \text{ t ha}^{-1}$  para as áreas sobre o Neossolo Quartzarênico, ou ainda um total de  $1,5 \text{ t C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  foi estocado no compartimento palhada ( $0,5 \text{ t C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e solo ( $1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), concordando com Cerri et al. (2009), pois estes relataram que a taxa anual de acúmulo de C no solo cultivado com cana-de-açúcar, com colheita sem queima, é de  $1,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , considerando uma camada de 0,30 m de profundidade.

Portanto, uma das características da colheita da cana-de-açúcar sem queima é o aumento gradativo do teor de MO na camada superficial do solo com o decorrer do tempo, influenciando diretamente suas características físico-químicas e biológicas. Em consequência,

a alteração no teor de matéria orgânica, tanto em quantidade como em qualidade, tem implicações graduais nas alterações do pH (associada aos seus teores de cátions de reação básica e carbono orgânico solúvel), segundo Miyazawa et al. (2000).

### 2.3 QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR

Características intrínsecas da planta podem definir a qualidade da cana-de-açúcar. Estas características [açúcares totais recuperáveis (ATR), porcentagem aparente de sacarose (POL), porcentagem de sólidos solúveis (Brix), porcentagem de pureza (PUR) e porcentagem de fibra (FIB)], conhecidas por parâmetros tecnológicos, podem ser alteradas pelo manejo agrícola e industrial, fatores esses que definem seu potencial para a produção de açúcar e álcool. Assim, parâmetros tecnológicos podem ser considerados como componentes para obtenção do preço da cultura, pois pelos valores determinados obtém-se o potencial produtivo da usina e o pagamento ao produtor (FERNANDES, 2000).

No campo, avaliações como a contagem de perfilhos e a pesagem dos colmos em parcelas definidas estimam, respectivamente, a população de plantas e a tonelagem de cana-de-açúcar por hectare. Durante a maturação da cana-de-açúcar, existem variações no teor de sacarose e no período útil de industrialização (PUI) que definem o momento onde a planta apresenta condições tecnológicas adequadas para a industrialização. A qualidade da cana-de-açúcar pode ser influenciada ainda pela queima da planta, em que perdas de açúcares ocorrem por exsudação do caldo e aderência de impurezas minerais nos colmos, além de perdas de até 30% da matéria bruta que poderia ser utilizada na cogeração de energia (LAVANHOLI, 2008).

### 2.4 ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO

Os fatores que mais influenciam o desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar são os genéticos e as condições físico-químicas do solo. Os fatores genéticos influenciam na dinâmica de estabelecimento da cultura, que pode alterar características do solo, onde a morte de raízes cria canais de drenagem e aeração nas camadas mais profundas, onde se beneficiam da umidade do solo em profundidade durante períodos de estiagem. Em relação às condições físicas do solo, a densidade é o atributo que mais interfere no desenvolvimento radicular e o aumento nos seus valores é devido à compactação resultante do tráfego de máquinas, veículos e implementos. Quando a densidade do solo aumenta, a macroporosidade e a condutividade

hidráulica se reduzem, refletindo no aumento da resistência à penetração, alterações que interferem direta ou indiretamente no desenvolvimento radicular, restringindo o desenvolvimento das plantas, e por consequência a produtividade vegetal (VASCONCELOS; CASAGRANDE, 2008).

Segundo Freddi et al. (2006), a resistência à penetração do solo é eficiente na identificação da compactação quando acompanhada da umidade do solo, uma vez que é inversamente proporcional ao conteúdo de água e ao teor de matéria orgânica do solo, que, por sua vez, tende a aumentar a área superficial específica do solo, com consequente aumento de retenção de água. Portanto, um solo avaliado próximo a sua capacidade de campo, com teores elevados de matéria orgânica e baixa densidade, apresentará menor valor de resistência à penetração, ao passo que condições inversas, implicarão em maior resistência à penetração.

Assim, recomenda-se avaliar a resistência à penetração do solo quando o teor de água estiver próximo do valor da capacidade de campo (BENGOUGH et al., 2001). Entretanto, quando obtida no momento em que a umidade do solo estiver ao redor de 2/3 da microporosidade (solo friável/macio), a maioria dos trabalhos tem adotado a seguinte classificação de resistência à penetração do solo (RP), estabelecida por Arshad et al. (1996): a) extremamente baixa:  $RP < 0,01$  MPa; b) muito baixa:  $0,01 \leq RP < 0,1$  MPa; c) baixa:  $0,1 \leq RP < 1,0$  MPa; d) moderada:  $1,0 \leq RP < 2,0$  MPa; e) alta:  $2,0 \leq RP < 4,0$  MPa; f) muito alta:  $4,0 \leq RP < 8,0$  MPa e g) extremamente alta:  $RP > 8,0$  MPa.

A matéria orgânica do solo (MO), ou húmus, é definida como sendo substância de natureza orgânica em avançado estágio de alteração, com efeito direto sobre as características físicas, químicas e biológicas dos solos, sendo considerada fator fundamental para a manutenção da capacidade produtiva dos solos. Do ponto de vista físico, a MO melhora a estrutura do solo, reduz a plasticidade e a coesão, aumenta a capacidade de retenção de água e a aeração, permitindo maior penetração e distribuição das raízes. Atua diretamente sobre a fertilidade dos solos tropicais por constituir a principal fonte de macro e micronutrientes essenciais às plantas, como também indiretamente, por meio da disponibilidade dos nutrientes, devido à elevação do pH, além de aumentar a capacidade de retenção dos nutrientes, evitando suas perdas. Biologicamente, aumenta a atividade da biota do solo, sendo fonte de energia e de nutrientes para a mesma (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

A importância da MO para os solos brasileiros é constatada por trabalhos que relacionam seus benefícios para diversas culturas, conforme salientado por Montezano et al. (2006), que ao analisarem a variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e

manejada homoganeamente no município de Planaltina (GO), concluíram que o manejo da MO foi fundamental para melhorar a produtividade dos cultivos. Assim, o acúmulo de MO no solo em áreas de cultivo é, evidentemente, de suma importância, tendo em vista que sua contribuição pode chegar a mais de 90% da capacidade de troca de cátions em solos arenosos (RANGEL et al., 2007).

No âmbito das mudanças climáticas globais, o solo e suas formas de uso estão em foco, sobretudo no que se refere à agricultura. Os solos agrícolas podem atuar como dreno ou fonte de gases de efeito estufa (GEE), dependendo do sistema de manejo a que forem submetidos (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC, 2001). No Brasil, a utilização dos solos e a alteração do sistema de cultivo na agropecuária responde por mais de dois terços do total das emissões de GEE (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA - MCT, 2004). Sabendo-se que a agricultura é totalmente dependente do clima e que os GEE provocam o aquecimento global, soluções para os problemas ligados ao setor agrícola, com a finalidade de buscar alternativas para minimizar esses danos e evitar uma grave crise mundial, devem ser encontradas (CARVALHO, 2009).

Sabe-se que os solos armazenam quatro vezes mais Carbono (C) que a vegetação. Esse C acumula-se no solo em forma de MO, que se decompõe, tornando-se um importante reservatório nos sistemas terrestres. Entretanto, mudanças na cobertura vegetal/desmatamento vêm alterando o equilíbrio natural do C no solo (ROSCOE, 2003; WATSON et al., 2000).

O potencial de fixação e estocagem de C no solo sofrem influência das condições climáticas locais, do relevo, da drenagem e do tipo de manejo de solo adotado. Sistemas de manejo que aumentem a adição de resíduos vegetais e a retenção de C no solo se constituem em alternativas importantes para aumentar a capacidade de dreno de C-CO<sub>2</sub> atmosférico e mitigação do aquecimento global. Em contrapartida, o preparo do solo e o manejo das culturas afetam as taxas metabólicas dos microrganismos nos processos de decomposição dos resíduos vegetais e da MO, as quais também são influenciadas pela temperatura, umidade do solo e relação Carbono/Nitrogênio (C/N) do material vegetal (BAYER et al., 2006; FALLOON et al., 2007; LAL, 2005; LA SCALA JUNIOR et al., 2006; SMITH, 2008).

Entre as medidas para reduzir as emissões de gases provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil destacam-se o corte mecânico da cana-de-açúcar e aproveitamento energético da biomassa, com consequente diminuição de desperdícios de matéria vegetal e energia, a redução de queimadas de culturas e de seus resíduos, bem como o uso de práticas agrícolas de conservação dos solos (LIMA, 2002). Neste contexto, inúmeros trabalhos, com o intuito de quantificar a MO e o estoque de C nos solos em diferentes

culturas, sistemas e manejos, constataram que os teores desses atributos variaram com a textura do solo e o manejo empregado na área (COSTA et al., 2008; FRAZÃO et al., 2010; GATTO et al., 2010; PAIVA; FARIA, 2007; RANGEL; SILVA, 2007).

## 2.5 A GEOESTATÍSTICA NA PESQUISA AGRONÔMICA

Entre os fatores de produção responsáveis pela variabilidade espacial da produtividade das culturas, os atributos físico-químicos do solo assumem grande importância, pois, em muitos casos, não variam no espaço e no tempo ao acaso, mas de acordo com uma continuidade aparente ou dependência espacial (CORÁ, 1997; CORÁ; BERALDO, 2006). Assim, Montanari et al. (2011) demonstraram que a planta atua de forma a responder, sobretudo quando sua produtividade é analisada espacialmente, de forma positiva e/ou negativa, conforme o comportamento da variabilidade dos atributos do solo.

As variações espaciais dos atributos físico-químicos do solo podem ser avaliadas com o uso de técnicas geoestatísticas, que verificam a relação entre as várias amostras de uma mesma área, usando-se o estudo de variáveis regionalizadas (SILVA; CHAVES, 2001). Paralelamente, a geoestatística também estuda a variabilidade espacial dos atributos da planta, auxiliando na escolha, locação de experimentos e interpretação dos resultados. Seu uso requer a coleta de amostras previamente planejadas, com a localização espacial exata de cada ponto amostral (MONTANARI et al., 2012). As técnicas da geoestatística trabalham com problemas de espacialização de variáveis e representam uma promissora ferramenta para trabalhos em Sistema de Informação Geográfica em três aplicações básicas: (a) estimativas: para inferir atributos em pontos diferentes daqueles originais, isto é, onde estes não foram coletados; (b) previsões: para detectar tendências e locais de máximos e mínimos; (c) desenhos de experimentos: para otimizar a segmentação da área em unidades de espaço (VALERIANO; PRADO, 2001).

### 2.5.1 Semivariograma

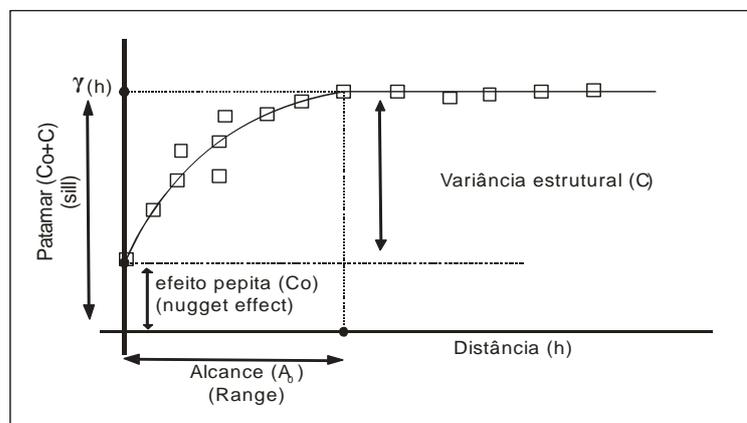
Um dos métodos mais antigos de se estimar a dependência no espaço ou no tempo de amostras vizinhas é pelo uso da autocorrelação. Porém, quando as amostras são referenciadas espacialmente para a interpolação entre locais medidos será necessária para a construção de mapas de isolinhas, uma ferramenta mais adequada para medir a dependência espacial. Essa ferramenta é o semivariograma. O semivariograma é uma ferramenta básica de suporte às

técnicas de mapeamento por krigagem, permitindo representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (DALCHIAVON et al., 2011a) ou no tempo, definido por três parâmetros: o efeito pepita ( $C_0$ ), o patamar ( $C_0 + C$ ) e o alcance ( $A_0$ ). O semivariograma pode ser estimado por:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \dots\dots\dots(1)$$

em que:  $N(\mathbf{h})$  é o número de pares experimentais de valores medidos  $Z(\mathbf{x}_i)$ ,  $Z(\mathbf{x}_i + \mathbf{h})$ , separados pelo vetor  $\mathbf{h}$ , e  $Z$  representa os valores medidos para atributos do solo ou da cultura. O gráfico de  $\gamma^*(h)$  versus os valores correspondentes de  $h$ , chamado semivariograma, é uma função do vetor  $h$ , e, portanto depende de ambos, magnitude e direção de  $h$ . A Figura 1 apresenta o comportamento típico de um semivariograma que apresenta dependência espacial. Pontos próximos entre si são mais semelhantes do que pontos mais afastados.

Figura 1: Exemplo de semivariograma experimental



Fonte: Montanari (2009)

O efeito pepita ( $C_0$ ) é representado por um valor da semivariância, diferente de zero, quando a distância entre pontos amostrais é nula. Assim, representa aquela variância que não pôde ser detectada pelo semivariograma, seja pela necessidade de coletas amostrais à distâncias menores, seja pela ocorrência de um erro qualquer em alguma etapa do trabalho. O patamar ( $C_0 + C$ ) representa a distância na qual toda a semivariância da amostra é de influência aleatória, correspondendo à variância total, obtida pela estatística descritiva (TRANGMAR et al., 1985). O alcance ( $A_0$ ) da dependência espacial é o principal parâmetro fornecido pela geoestatística, representando a distância dentro da qual os valores de um

determinado atributo são iguais entre si. Assim, valores de um atributo, localizados dentro da área cujo raio é igual ao seu valor, possuem entre si extrema semelhança em magnitude. Contudo, passam a assumir valores diferentes, maiores ou menores, somente para as distâncias estabelecidas a partir do seu valor. Seu conhecimento é de extrema importância à Agricultura de Precisão, uma vez que os programas computacionais o utilizam para, em função da inteligência artificial que o geoprocessamento desempenha via satélite, poder monitorar o trator agrícola, equipado com a semeadora/adubadora, e, assim, poder efetuar a distribuição de um determinado insumo com taxas variáveis no terreno (COELHO, 2003).

No ajuste dos modelos experimentais (linear, esférico, exponencial e gaussiano), que depende do atributo e da camada de solo analisada (REICHERT et al., 2008), são considerados: a) a menor soma dos quadrados dos desvios (**SQD**); b) o maior coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e c) o maior avaliador do grau da dependência espacial (**ADE**). O ajuste é validado pela técnica da validação cruzada, assim como também para a definição do tamanho da vizinhança que proporcionará a melhor malha de krigagem. Para cada atributo é estimado o efeito pepita ( $C_0$ ), o alcance ( $A_0$ ) e o patamar ( $C_0+C$ ). A classificação da dependência espacial (**ADE**) pode ser realizada mediante sugestões de Cambardella et al. (1994), modificadas pelo GS<sup>+</sup> (2004), conforme a seguinte expressão:

$$\mathbf{ADE} = [C/(C+C_0)].100.....(2)$$

onde: **ADE** é o avaliador da dependência espacial; **C** é a variância estrutural; e  $C+C_0$  é o patamar.

A interpretação para o **ADE** é, conforme Dalchiavon (2010), a seguinte: a)  $\mathbf{ADE} < 20\%$  = variável espacial de muito baixa dependência (**MB**); b)  $20\% \leq \mathbf{ADE} < 40\%$  = baixa dependência (**BA**); c)  $40\% \leq \mathbf{ADE} < 60\%$  = média dependência (**ME**); d)  $60\% \leq \mathbf{ADE} < 80\%$  = alta dependência (**AL**), e e)  $80\% \leq \mathbf{ADE} < 100\%$  = muito alta dependência (**MA**). Por outro lado, sabe-se que a validação cruzada é uma ferramenta destinada a avaliar modelos alternativos de semivariogramas que efetuam a krigagem. Assim, trabalhando-se na obtenção do número ideal de vizinhos, são obtidos, por meio da interpolação por krigagem, os mapas de krigagem para a interpretação e o detalhamento da variabilidade espacial dos atributos pesquisados.

### 2.5.2 Interpolação dos dados por krigagem ordinária

Existem diversos métodos de interpolação dos dados: método da triangulação, método dos polígonos, método do inverso da distância, método do vizinho mais próximo e método da krigagem ordinária. Entretanto, a maioria desses métodos não fornece o algoritmo dos erros associados aos resultados obtidos, diferentemente do método geoestatístico da krigagem ordinária, segundo um modelo contínuo de variação espacial. Pelo método da krigagem ordinária, determinando-se o semivariograma da variável e havendo dependência espacial entre as amostras, podem-se interpolar linearmente valores em qualquer posição na área de estudo, sem tendência e com variância mínima. Este é o método de interpolação dos dados mais utilizado no mapeamento dos atributos do solo (SCHLOEDER et al., 2001).

O estimador que permite estimar valores ( $\mathbf{z}^*$ ) para qualquer local ( $\mathbf{x}_0$ ), onde não se tem valores medidos é:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \dots\dots\dots(3)$$

em que:  $\mathbf{N}$  é o número de valores medidos,  $\mathbf{z}(\mathbf{x}_i)$ , envolvidos na estimativa, e  $\lambda_i$  são os pesos associados a cada valor medido,  $\mathbf{z}(\mathbf{x}_i)$ .

Os resultados do estudo podem ser expressos em forma de mapa de isolinhas ou de superfície tridimensional. Porém, a maneira mais utilizada para representar a variabilidade espacial dos atributos do solo em uma área é por meio de mapas de isolinhas (CORÁ; BERALDO, 2006).

### 2.5.3 Semivariograma cruzado

Em situações em que existe a correlação espacial entre duas propriedades, a estimativa de uma delas pode ser feita usando-se informações de ambas expressas no semivariograma cruzado. Este método é chamado de cokrigagem, o qual pode ser mais preciso do que o da krigagem em si (VIEIRA, 2000).

#### 2.5.4 Cokrigagem

A cokrigagem é uma técnica de avaliação geoestatística que permite estimar uma variável primária de interesse por intermédio de uma variável secundária. Para tanto, é necessário que exista a dependência espacial para cada uma e entre as variáveis  $Z_1$  e  $Z_2$ . Essa estimativa pode ser mais precisa do que a krigagem de uma variável simples (DALCHIAVON et al., 2011a), quando o semivariograma cruzado mostrar dependência entre as duas variáveis. Conforme Montanari (2009), a principal vantagem da cokrigagem é a sua utilização para estimar valores de uma propriedade do solo de difícil mensuração (a condutividade hidráulica), com base em outra de medição mais fácil (o teor de argila), desde que sejam correlacionadas espacialmente.

#### 2.5.5 A agricultura de precisão

A uniformidade de manejo do solo ignora as variações naturais e induzidas em suas propriedades, e pode resultar em zonas com excesso e outras com falta de tratamentos, fazendo com que cresçam os problemas econômicos e ambientais associados a essa ineficaz aplicação de insumos no solo. Sabe-se que os elevados níveis de produtividade agrícola estão associados ao uso intenso de insumos. Face ao exposto, é eminente a necessidade de se encontrar meios alternativos que possibilitem minimizar o uso de insumos e por extensão os custos de produção e o impacto ambiental, além de incrementar a produtividade das culturas. Esta necessidade foi o que impulsionou a agricultura de precisão, do controle homogêneo ao controle espacialmente variável (CASTRO, 2004; OLIVEIRA, 2003).

Segundo Johann (2004), a agricultura de precisão surgiu graças ao desenvolvimento e disponibilidade de algumas tecnologias, dentre as quais o sistema de informação geográfica (SIG) associado ao sistema de posicionamento global (GPS) para determinação exata da localização, sensores de produtividade, técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de aplicações de insumos com taxas variadas. Desta forma, em função da crescente demanda mundial por alimentos, Salvador (2002) relatou que está ocorrendo uma evolução natural no meio rural, que passa agora a ser mais empresarial do que de subsistência, adotando-se, para a tomada de decisão, novos métodos administrativos e gerenciais baseados na informatização da atividade de produção, reforçando a idéia de que a agricultura de precisão tende a se tornar cada vez mais comum nas propriedades rurais.

### 2.5.6 A cultura da cana-de-açúcar e a geoestatística

Em sistemas de cultivos altamente tecnificados, como em cana-de-açúcar, é fundamental ter o conhecimento da variabilidade espacial de atributos do solo, o que poderá contribuir para redução dos custos de produção. Da mesma forma, a determinação dos alcances geoestatísticos para estes atributos do solo, é essencial ao mapeamento da área para a utilização na agricultura de precisão, uma vez que o valor do alcance é utilizado nos pacotes geoestatísticos que alimentam os pacotes computacionais empregados na agricultura de precisão. Neste contexto, surge a geoestatística, uma ferramenta que além de analisar a dependência espacial desses valores, ainda proporciona meios para que sejam efetuados os respectivos mapeamentos, por meio da krigagem e/ou da cokrigagem. Portanto, uma vez conhecido o modelo da dependência espacial, é possível mapear a área estudada, estabelecendo *zonas específicas de manejo* visando à conservação do solo (p.e. descompactação das zonas compactadas), condições necessárias à *agricultura de precisão* (COELHO, 2003).

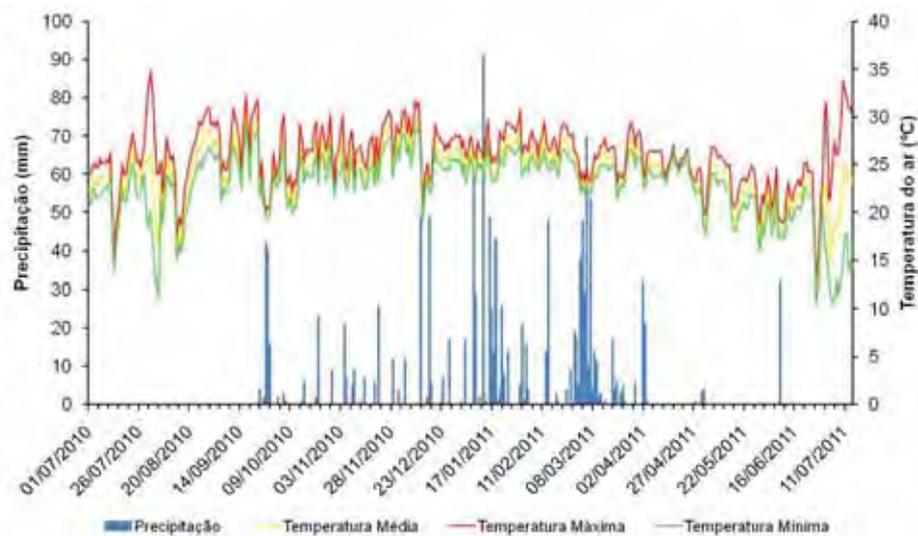
Neste sentido, Souza et al. (2006) analisaram a dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar e obtiveram alcances de 48,6 m para a resistência do solo à penetração e de 30,5 m para a umidade gravimétrica do solo, para a profundidade de 0-0,15 m. Da mesma forma, Souza et al. (2008) pesquisaram a correlação dos atributos físicos e químicos do solo com a produtividade de cana-de-açúcar e verificaram que a matéria orgânica e a umidade gravimétrica do solo apresentaram correlações com a produtividade da cultura, indicando a importância da adoção de práticas agrícolas que visem a preservação desses atributos no solo. Por outro lado, Vieira et al. (2008) analisaram a população de plantas por metro e a produtividade de cana-de-açúcar num talhão em Ribeirão Preto (SP) e concluíram que foi possível estabelecer mapas de krigagem, pois a variabilidade dos dados apresentaram dependência espacial, cujo valor do alcance foi 45,0 m para ambos os atributos.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ORIGEM DOS DADOS

A pesquisa foi realizada no município de Rubinéia, Estado de São Paulo, num talhão com a cultura da cana-de-açúcar da Usina Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar, num ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico textura arenosa/média, A moderado, mesoeutrófico, caulínítico, muito profundo, praticamente neutro (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA, 2006). O local apresenta como coordenadas geográficas 20°17'53'' de Latitude Sul e 51°02'23'' de Longitude Oeste, com altitude média de 348 metros. Conforme preceitos de Köppen, referidos por Vianello e Alves (2004), o clima da região é o tropical úmido megatérmico (Aw), com temperaturas elevadas, chuva no verão e seca no inverno. As condições climáticas durante o período experimental - cujos valores médios para as temperaturas máxima, média e mínima foram 26,0; 24,3 e 22,9 °C, respectivamente, e precipitação pluvial de 1365 mm - podem ser visualizadas na Figura 2.

Figura 2: Precipitação pluvial e médias térmicas, obtidas na área experimental, durante o período de julho de 2010 a julho de 2011



#### 3.2 CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO SOLO PESQUISADO

Antes da implantação dos tratamentos foi realizada a caracterização físico-química inicial do solo (outubro/2010), com base em 20 pontos amostrais tomados aleatoriamente no

talhão. Também foi quantificada a palhada depositada sobre o solo (julho/2010), bem como o estoque de Carbono na palhada, utilizando-se um quadrado de metal de 0,5 x 0,5 m (0,25 m<sup>2</sup>), com base em 10 pontos amostrais, cujos respectivos valores foram de 17,7 t ha<sup>-1</sup> e 7,4 t ha<sup>-1</sup> (Figura 3a-d). As determinações físico-químicas foram efetuadas nos Laboratórios de Fertilidade e Física do Solo, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP), ao passo que o teor de Carbono (%C) na palhada foi analisado no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), em Piracicaba-SP. Desta forma, na Tabela 1, assim como na Figura 4a,b, estão apresentados tais resultados.

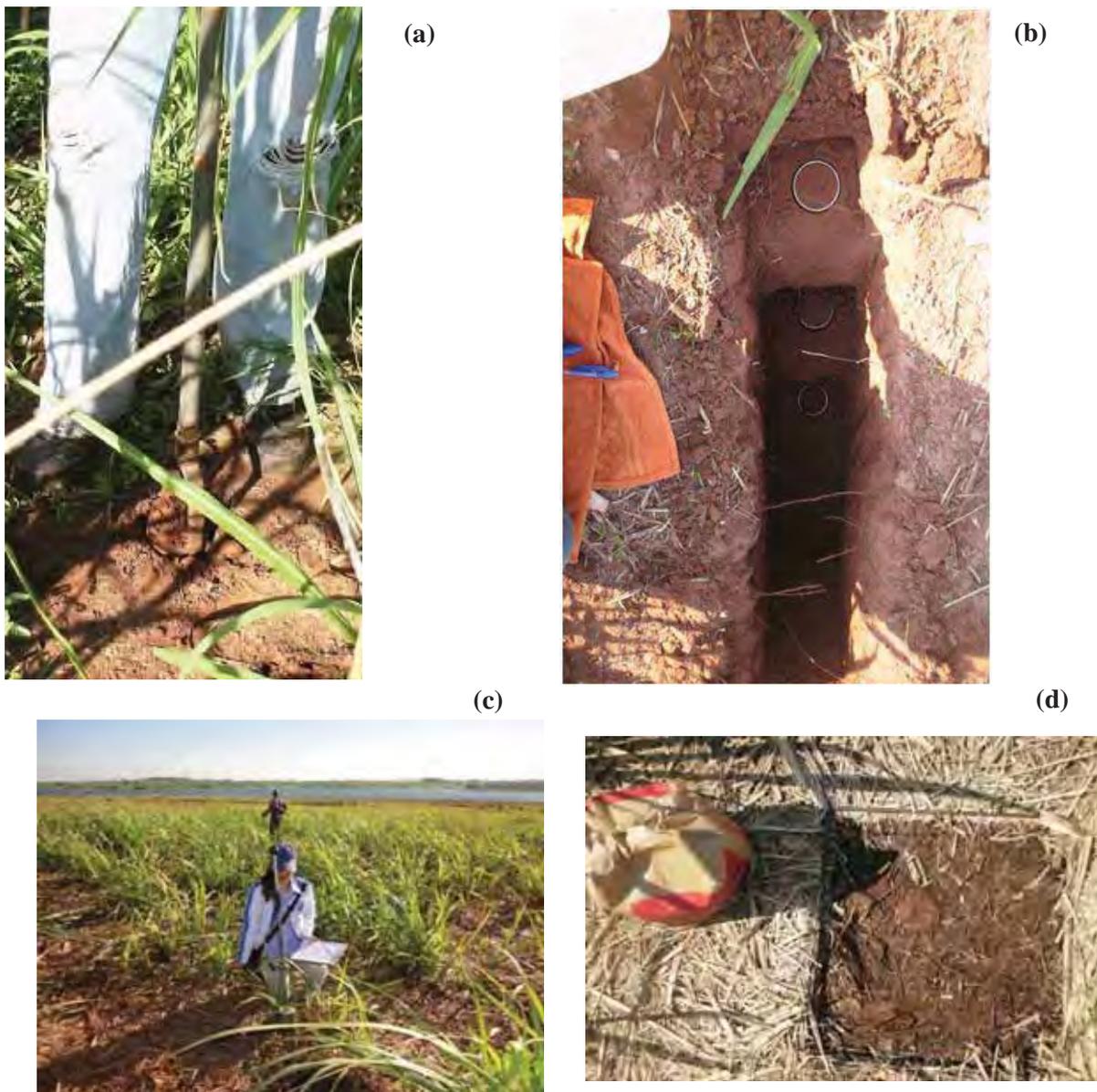
Para a implantação da cana-de-açúcar, sobre área de pastagem (braquiária) há 20 anos, foi realizado o preparo do solo com uma gradagem pesada e duas gradagens intermediárias (maio/2008). Foi aplicado a lanço 1,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (PRNT 85%), com incorporação por arado de aivecas a 0,35 m de profundidade, finalizando o preparo com uma grade niveladora. Na sulcação adubou-se a área com 500 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 06-30-24 e na cobertura dos toletes foi aplicado no sulco de plantio 250 g ha<sup>-1</sup> i.a. de fipronil visando o controle de pragas de solo.

### 3.3 IMPLANTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS MALHAS EXPERIMENTAIS DE CAMPO

O talhão cultivado com cana-de-açúcar foi plantado convencionalmente em junho de 2008 (variedade RB855035) no espaçamento de 1,50 m entre linha, e desde então a cana vem sendo colhida mecanicamente, crua e em toletes. A condução da cultura no campo foi de acordo com o manejo adotado pela Usina Vale do Paraná S/A Álcool e Açúcar. Assim, para as adubações das soqueiras (2009 e 2010) foram aplicados 500 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 23-00-15. Neste talhão foram testados **2 tratamentos** (Figura 5a,b). A área que recebeu o primeiro tratamento (**T1**) teve como peculiaridade pós-colheita a manutenção de toda a palhada (**MAP**) produzida pela cultura durante seu ciclo fenológico anterior (2009/2010), ao passo que a outra metade do talhão, segundo tratamento (**T2**), constituiu no enleiramento da palhada, utilizando-se ancinho (Figura 5c), com posterior remoção desta palhada (**REP**). A implantação das malhas geoestatísticas (Figura 6), uma para cada tratamento, foi realizada por ocasião da coleta dos dados, deixando 17,0 m de bordadura entre as malhas, bem como destas em relação aos carregadores. Foram definidas as direções X e Y do sistema de coordenadas cartesianas (Figura 6), efetuando-se o estaqueamento global das malhas experimentais. Na dimensão X foram alocadas 11 transeções com 11 pontos amostrais em cada uma delas, de

maneira que no interior de cada malha regular foram distribuídos 121 pontos amostrais em 13000 m<sup>2</sup> (100,0 m x 130,0 m), com espaçamento entre pontos de 10,0 x 13,0 m. Foi utilizado um nível ótico comum para retirar as coordenadas X e Y, possibilitando a avaliação da dependência espacial entre os valores observados. Também foi tomada a altitude do terreno (m), em relação ao nível médio do mar, em cada ponto de coleta de dados.

Figura 3: Caracterização inicial do solo pesquisado



Fonte: Elaboração do autor

Tabela 1: Atributos físico-químicos da caracterização inicial do Argissolo Vermelho eutrófico típico de Rubinéia (SP)

Atributo físico <sup>(a)</sup>								
Profundidade	Porosidade					Resistência à penetração/umidade		
	MA	MI	PT	DS	DP	RP	UG	UV
m	-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----			-----kg dm <sup>-3</sup> -----		MPa	kg kg <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>
<b>0 - 0,20</b>	0,063	0,292	0,355	1,603	2,484	1,693	0,124	0,199
<b>0,20 - 0,40</b>	0,090	0,284	0,374	1,590	2,548	2,080	0,105	0,167
<b>0,40 - 0,60</b>	0,121	0,286	0,407	1,469	2,548	1,565	0,102	0,150

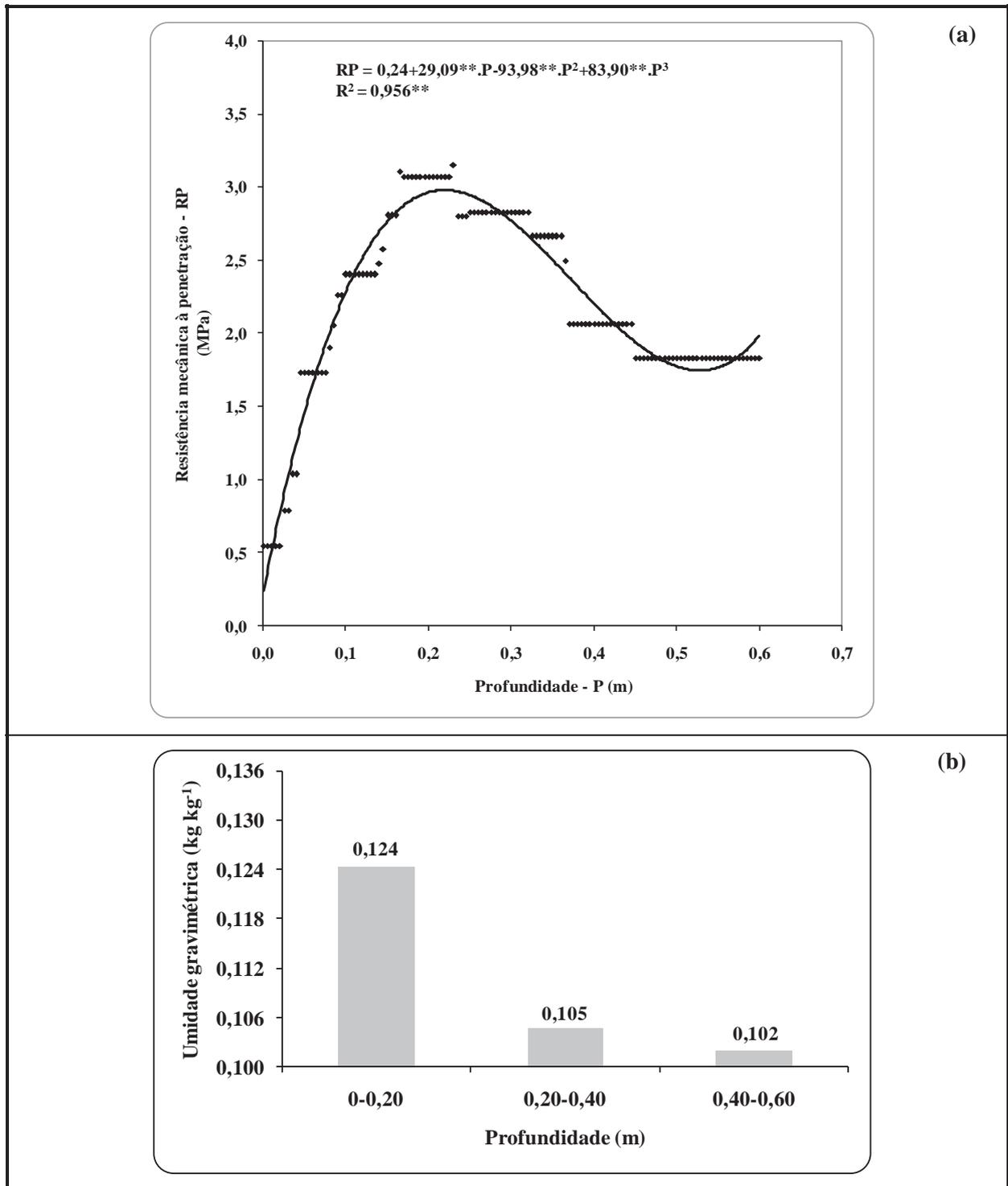
<sup>(a)</sup> MA = macroporosidade, MI = microporosidade, PT = porosidade total, DS = densidade do solo, DP = densidade da partícula, RP = resistência à penetração, UG = umidade gravimétrica, UV = umidade volumétrica.

Profundidade	Cor		Composição granulométrica			Relação silte/argila	Análise química		
	seco	úmido	areia	silte	argila		pH		
m			.....g kg <sup>-1</sup> .....				CaCl <sub>2</sub>	KCl	H <sub>2</sub> O
<b>0 - 0,20</b>	<b>2,5YR 4/4</b>	<b>2,5YR 3/6</b>	844	67	89	<b>0,753</b>	<b>4,8</b>	<b>5,2</b>	<b>6,3</b>
<b>0,20 - 0,40</b>	<b>2,5YR 4/4</b>	<b>2,5YR 3/6</b>	778	81	141	<b>0,574</b>	<b>5,3</b>	<b>5,2</b>	<b>6,5</b>
<b>0,40 - 0,60</b>	<b>2,5YR 4/6</b>	<b>2,5YR 3/6</b>	724	75	201	<b>0,373</b>	<b>5,3</b>	<b>5,2</b>	<b>6,6</b>
<b>0,60 - 0,80</b>	<b>2,5YR 4/6</b>	<b>2,5YR 3/6</b>	703	69	228	<b>0,303</b>	<b>5,6</b>	<b>5,2</b>	<b>6,6</b>
<b>0,80 - 1,00</b>	<b>2,5YR 4/8</b>	<b>2,5YR 3/6</b>	724	73	202	<b>0,361</b>	<b>5,7</b>	<b>6,3</b>	<b>6,7</b>
<b>1,00 - 1,20</b>	<b>2,5YR 4/8</b>	<b>2,5YR 3/6</b>	746	69	184	<b>0,375</b>	<b>5,7</b>	<b>5,4</b>	<b>6,6</b>
<b>1,20 - 1,40</b>	<b>2,5YR 4/8</b>	<b>2,5YR 3/6</b>	753	67	181	<b>0,370</b>	<b>5,8</b>	<b>5,4</b>	<b>6,5</b>

Profundidade	Análise química												
	$\Delta$ pH	P	MO	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>+3</sup>	Al <sup>+3</sup>	SB	CTC	V%	m%	
m	-	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	.....mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....								%	%
<b>0 - 0,20</b>	<b>-1,1</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>1,2</b>	<b>18</b>	<b>8</b>	18	0	<b>27,2</b>	<b>45,2</b>	<b>60</b>	<b>0</b>	
<b>0,20 - 0,40</b>	<b>-1,3</b>	<b>3</b>	<b>11</b>	<b>0,7</b>	<b>16</b>	<b>6</b>	16	0	<b>22,7</b>	<b>38,7</b>	<b>59</b>	<b>0</b>	
<b>0,40 - 0,60</b>	<b>-1,4</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>0,4</b>	<b>13</b>	<b>6</b>	15	0	<b>19,4</b>	<b>34,4</b>	<b>56</b>	<b>0</b>	
<b>0,60 - 0,80</b>	<b>-1,4</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>0,3</b>	<b>15</b>	<b>7</b>	15	0	<b>22,3</b>	<b>37,3</b>	<b>60</b>	<b>0</b>	
<b>0,80 - 1,00</b>	<b>-0,4</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>0,3</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	13	0	<b>16,3</b>	<b>29,3</b>	<b>56</b>	<b>0</b>	
<b>1,00 - 1,20</b>	<b>-1,2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>0,4</b>	<b>11</b>	<b>6</b>	13	0	<b>17,4</b>	<b>30,4</b>	<b>57</b>	<b>0</b>	
<b>1,20 - 1,40</b>	<b>-1,1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>0,4</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	12	0	<b>14,4</b>	<b>26,4</b>	<b>55</b>	<b>0</b>	

Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 4: Curva da resistência mecânica à penetração (RP) e valores da umidade gravimétrica até a profundidade (P) do solo de 0,60 m



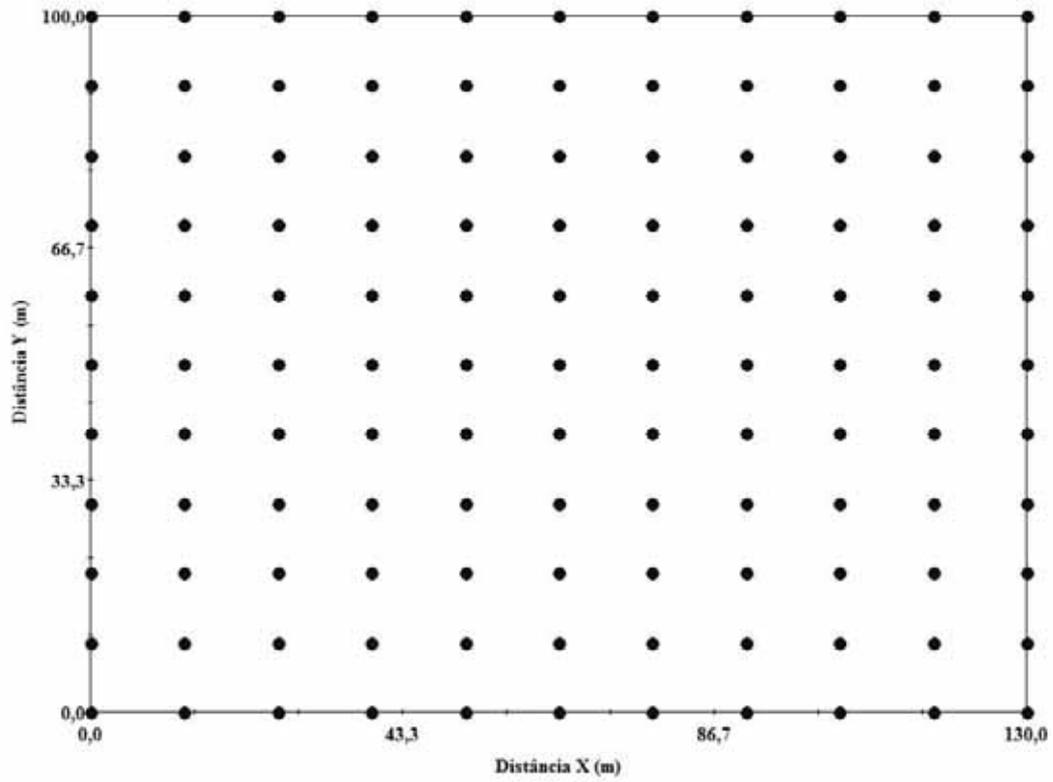
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 5: Imagem da área que recebeu o T1 (a), o T2 (b), e do ancinho enleirando a palhada (c)



Fonte: Elaboração do autor

Figura 6: Esquema das malhas experimentais de campo com os 121 pontos amostrais



Fonte: Google Earth

### 3.4 CARACTERÍSTICAS DA VARIEDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR RB855035

A variedade RB855035, originada do cruzamento entre os genitores L60-14 x SP70-1284, apresenta, de acordo com a Ridesa (2010), touceramento médio, com colmos eretos, de diâmetro médio a grosso, e de cor verde-amarelada, que arroxéiam quando expostos e de fácil despalha. Em relação às recomendações, o seu plantio não é recomendado em regiões propícias à ferrugem marrom; indicada para ambiente de baixo a médio potencial de produção; não utilizada como cana-de-ano. Como destaque, salienta-se a precocidade e boa adaptação a solos leves de média fertilidade. Outras características da variedade RB855035 são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Características da variedade RB855035

Produtividade Agrícola		Média
Colheita		Mai-Jun
Perfilhamento	Cana planta	Médio
	Cana soca	Médio
Brotação da Soca	Queimada	Boa
	Crua	Boa
Fechamento entre linhas		Bom
Velocidade de Crescimento		Regular
Porte		Médio
Hábito de Crescimento		Ereto
Tombamento		Raro
Florescimento		Frequente
Chochamento		Médio
Maturação		Precoce
Despalha		Fácil
PUI		Curto
Exigência em Ambientes		Baixa-média
Teor de Sacarose		Alto
Teor de Fibra		Médio
Carvão		Resistente
Ferrugem marrom		Tolerante
Escaldadura		Resistente
Mosaico		Resistente

Fonte: RIDESA (2010)

### 3.5 COLETA DOS DADOS E METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS PESQUISADOS

Foram determinados atributos do solo e das plantas, individualmente coletados no entorno de cada ponto amostral. Os atributos físicos do solo avaliados foram: a) resistência mecânica à penetração (RP), b) umidade gravimétrica (UG) e c) densidade do solo (DS). Os atributos químicos do solo foram: a) estoque de carbono (EC) e b) potencial hidrogeniônico (pH em CaCl<sub>2</sub>). As amostras de solos foram coletadas nas entrelinhas de plantio, em duas profundidades: 1) 0-0,20 m e 2) 0,20-0,40 m. Desta maneira, foram estudados 10 atributos do solo, mais a altitude do terreno (coletada com o Google Earth), a saber: profundidade 1: RP1, UG1, DS1, EC1 e pH1, e para a profundidade 2: RP2, UG2, DS2, EC2 e pH2, para o **T1**, ou ainda: profundidade 1: Rp1, Ug1, Ds1, Ec1 e pH1, e para a profundidade 2: Rp2, Ug2, Ds2, Ec2 e pH2, para o **T2**.

A RP (MPa) foi avaliada com o penetrômetro de impactos (STOLF, 1991) e calculada segundo a seguinte expressão, para curso de 0,20 m:

$$RP = \{2,791 + 3,446 \cdot [N/(P-A) \cdot 10]\} \cdot 0,0981 \dots \dots \dots (4)$$

onde: **RP** é a resistência mecânica do solo à penetração, **N** é o número de impactos efetuados com o martelo do penetrômetro para a obtenção da leitura no sabre, **A** e **P** são, respectivamente, as leituras de penetração no solo, antes e depois da realização dos impactos (cm).

Para a determinação da UG (kg kg<sup>-1</sup>) foram coletadas amostras deformadas de solo com o trado de caneca, ao passo que a DS (kg dm<sup>-3</sup>) foi calculada pelo método do anel volumétrico a partir de amostras indeformadas (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 1997).

O Carbono orgânico foi obtido pelo método da combustão úmida, via colorimétrica, resultando no teor de matéria orgânica do solo à partir da seguinte expressão (RAIJ et al., 2001):

$$MO = C \times 1,724 \cdot 10 \dots \dots \dots (5)$$

onde: **MO** é o teor de matéria orgânica (g dm<sup>-3</sup>) e **C** é o teor de carbono orgânico (%).

O EC ( $t\ ha^{-1}$ ) foi determinado pela seguinte expressão:

$$EC = (MO / (1,724) \times 2) \dots \dots \dots (6)$$

onde: **MO** é o teor de matéria orgânica ( $g\ dm^{-3}$ ), **1,724** a constante para retornar ao teor de carbono orgânico (**C**) e 2 representa o perfil de 0-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, apresentado na unidade  $t\ ha^{-1}$ . O pH foi determinado potenciométricamente em solução de  $CaCl_2\ 0,01M$  (BRASIL, 1979).

As amostras de solo para as determinações do pH e do teor de matéria orgânica foram coletadas com um trado de caneca, com diâmetro interno de 0,08 m e altura de 0,20 m, constituindo um volume de  $1,005.10\ m^{-3}$ . O solo foi seco ao ar (terra fina seca ao ar – TFSA), destorroado e posteriormente passado por peneira com malha de 2 mm, sendo as análises químicas realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Ilha Solteira (Figura 7).

Em relação aos atributos das plantas, foram avaliados: a) produtividade de colmos de cana-de-açúcar (PRO), b) plantas por metro (PPM), c) quantidade de palhada sobre o solo (QPS), d) estoque de carbono na palhada (ECP) e e) açúcares totais recuperáveis (ATR). A PRO ( $t\ ha^{-1}$ ) foi obtida mediante a pesagem de todos os colmos, despalhados e despontados, colhidos manualmente (15/07/2011) numa área de  $9\ m^2$  ( $3,0 \times 3,0\ m$ ), sendo duas linhas de 3,0 m em cada ponto amostral, utilizando balança analítica eletrônico-digital ( $\pm 0,05\ kg$ ), com capacidade máxima para 300 kg (Figura 8a,b). A PPM, expressa em número de plantas por metro, foi obtida mediante a contagem dos colmos, e obtenção da respectiva média, presentes nos 6 m de colheita (2 linhas de plantio com 3,0 m cada). O ATR ( $kg\ ha^{-1}$ ) foi determinado segundo metodologia proposta pelo Consecana (2006), com base em cinco colmos por amostra. A QPS ( $t\ ha^{-1}$ ) foi avaliada (12/08/2011) com um quadrado de metal de  $0,5 \times 0,5\ m$  ( $0,25\ m^2$ ), conforme a Figura 8c,d. Para isso, o material coletado no interior do quadrado foi limpo em peneira para posterior determinação da massa seca (estufa a  $65^\circ C$  até massa constante). E por fim, o ECP ( $t\ ha^{-1}$ ) foi obtido pelo produto **QPS x %C**, dividido por **100**. A %C na palhada foi analisada no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), em Piracicaba-SP.

### 3.6 Análise estatística e geoestatística dos atributos pesquisados

Para todos os atributos estudados foi efetuada a análise descritiva dos seus dados com o *Software SAS* (SCHLOTZHAVER; LITTELL, 1997), sendo calculados a média, mediana, moda, valores mínimos e máximos, desvio padrão, coeficiente de variação, curtose e

assimetria. Seguidamente foram identificados os *outliers*, conforme identificação do gráfico de ramos e folhas, efetuando-se a substituição destes pelo valor médio dos circunvizinhos estabelecidos no *grid* geoestatístico. Para testar a hipótese da normalidade, ou da lognormalidade dos atributos, foi utilizado o teste de Shapiro e Wilk (1965) a 5%. Nele, a estatística W testa a hipótese nula, a qual julga ser a amostra proveniente de uma população com distribuição normal.

Para a comparação entre os tratamentos efetuou-se o teste F, com o auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2007). Posteriormente foi montada a matriz de correlação de Pearson, identificando as correlações significativas de interesse, a partir das quais foram efetuadas as modelagens das regressões lineares simples com a planilha de cálculos Excel. Por outro lado, foram modeladas regressões lineares múltiplas da variável dependente (PRO) em função das demais variáveis (independentes), por intermédio do *stepwise*, a 10% de probabilidade para a inclusão e exclusão de variáveis no modelo, utilizando o *Software SAS*.

Para cada atributo foi analisada a dependência espacial pelo cálculo do semivariograma, com o *software Gamma Design Software 7.0* (GS<sup>+</sup>, 2004), partindo-se do pressuposto de que seus incrementos sejam estacionários. No entanto, na indefinição de estacionaridade para o atributo, foi retirada a tendência dos seus dados (Figura 9) pela técnica da regressão múltipla polinomial, conforme preceitos de Matheron (1962), Davis (1986) e de Armesto (1999). O ajuste do semivariograma foi efetuado pela seleção inicial de: a) a menor soma dos quadrados dos desvios (**RSS**); b) o maior coeficiente de determinação (**r<sup>2</sup>**), e c) o maior avaliador da dependência espacial (**ADE**). A decisão final do modelo representante do ajuste foi por meio da validação cruzada (número de vizinhos) que proporcionou a melhor malha de krigagem. Para cada atributo foram relacionados o efeito pepita (**C<sub>0</sub>**), o alcance (**A<sub>0</sub>**) e o patamar (**C<sub>0</sub>+C**).

A análise do avaliador da dependência espacial (**ADE**) foi conforme sugestões de Cambardella et al. (1994), modificada por GS<sup>+</sup> (2004), utilizando-se da interpretação proposta por Dalchiavon (2010).

Figura 7: Secagem (a), destorroamento das amostras de solo (b) e determinações do pH (c,d) e do teor de matéria orgânica do solo (e,f)



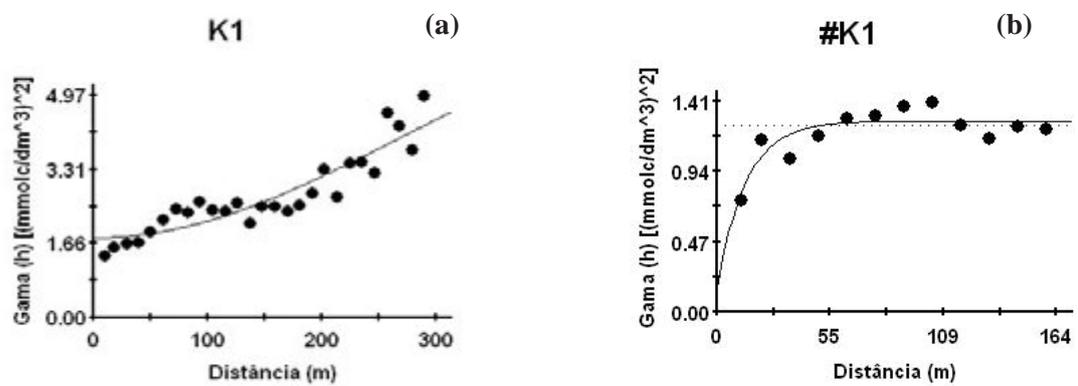
Fonte: Elaboração do autor

Figura 8: Colheita (a), pesagem dos colmos (b) e avaliação da quantidade de palhada sobre o solo (c,d)



Fonte: Elaboração do autor

Figura 9. Exemplos de semivariogramas: (a) não-estacionário e (b) estacionário



Fonte: Dalchiavon (2010)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

#### 4.1.1 Manutenção da palhada

##### 4.1.1.1 Distribuição de frequência dos atributos

###### 4.1.1.1.1 Atributos da planta

Todos os atributos da planta apresentaram distribuição de frequência do tipo normal (Tabela 3), concordando com Souza et al. (2008), no caso da PRO, e com Braga (2011), tanto para a PRO quanto para a PPM. Os coeficientes de assimetria ficaram entre -0,067 (PPM) e 0,180 (QPS). Para os coeficientes de curtose os valores ficaram entre -0,497 (PRO) e 0,060 (ATR). Desta forma, os atributos foram significativos pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), uma vez seus valores oscilaram entre 0,289 e 0,715. Segundo Cambardella et al. (1994), isto pode ser um indicativo de que as medidas de tendência central não refletem valores atípicos na distribuição.

###### 4.1.1.1.2 Atributos do solo

Os atributos do solo ALT, RP1, DS1, EC1 e EC2 não apresentaram distribuição de frequência do tipo normal (Tabela 4), sendo esta do tipo indeterminada, demonstrando heterogeneidade dos dados, o que pode ser, com exceção da ALT, “herança” do preparo inicial do solo. Em relação aos demais, que apresentaram distribuição de frequência normal, seus coeficientes de assimetria ficaram entre -0,177 (pH1) e 0,424 (RP2). Os coeficientes de curtose ficaram entre -0,290 (pH1) e 1,097 (DS2), sendo significativos pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), uma vez que as probabilidades ficaram entre 0,051 e 0,779. Souza et al. (2004) também observaram distribuição de frequência normal para a UG1, UG2, RP2 e DS2 ao estudarem a variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar.

### 4.1.1.2 Valores médios dos atributos

#### 4.1.1.2.1 Atributos da planta

Conforme a Tabela 3, a PRO (94,6 t ha<sup>-1</sup>) foi inferior à PRO de 109,6 t ha<sup>-1</sup> obtida por Demetrio et al. (2008) ao trabalhar com a variedade RB 975286, oriunda do cruzamento entre os parentais RB 855035 x RB 855536, num Latossolo Vermelho distrófico na região noroeste do Paraná. Todavia, a PRO mencionada por estes pesquisadores referem-se à cana de segundo corte (primeira soca), enquanto que a presente pesquisa refere-se à segunda soca. Entretanto, foi superior à PRO de 89,9 t ha<sup>-1</sup> (variedade RB855035) relatada por Moreira (2000), considerando a média de três cortes, para o município de São Pedro dos Ferros (MG), assim como foi superior à produtividade média do estado de São Paulo no ano de 2011, que fora de 83,0 t ha<sup>-1</sup> (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2011).

Tabela 3: Análise descritiva de atributos da cana-de-açúcar em um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada

Atributo <sup>(a)</sup>	Medidas estatísticas descritivas									
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente			Probabilidade do teste <sup>(b)</sup>	
			Mínimo	Máximo		Varição (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	DF
	<b>PRO (t ha<sup>-1</sup>)</b>	94,6	94,9	69,3	119,7	11,4	12,0	-0,497	0,072	0,289
<b>PPM (pl. m<sup>-1</sup>)</b>	11,5	11,6	7,9	15,8	1,68	14,6	-0,485	-0,067	0,439	NO
<b>QPS (t ha<sup>-1</sup>)</b>	14,9	14,4	5,0	26,4	4,30	28,9	-0,326	0,180	0,715	NO
<b>ECP (t ha<sup>-1</sup>)</b>	6,09	6,05	2,07	10,65	1,75	28,8	-0,361	0,117	0,622	NO
<b>ATR (kg t<sup>-1</sup>)</b>	131,8	132,4	99,0	170,6	13,87	10,5	0,060	-0,064	0,531	NO

<sup>(a)</sup> PRO, PPM, QPS, ECP e ATR são respectivamente a produtividade de colmos por hectare, plantas por metro, quantidade de palhada sobre o solo, estoque de carbono na palhada e açúcares totais recuperáveis; <sup>(b)</sup> DF = distribuição de frequência, sendo NO do tipo normal.

Tabela 4: Análise descritiva de atributos físico-químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada

Atributo <sup>(a)</sup>	Medidas estatísticas descritivas								Probabilidade do teste <sup>(b)</sup>	
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente				
			Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	DF
	<b>ALT (m)</b>	346,6	346,0	344,0	350,0	1,46	0,4	-0,593	0,263	10 <sup>-4</sup>
<i>Profundidade de 0-0,20 m</i>										
<b>RP1 (MPa)</b>	0,962	0,925	0,375	1,744	0,315	32,7	-0,852	0,234	0,015	IN
<b>UG1 (kg kg<sup>-1</sup>)</b>	0,146	0,145	0,106	0,194	0,015	10,2	0,575	0,414	0,253	NO
<b>DS1 (kg dm<sup>-3</sup>)</b>	1,535	1,551	1,256	1,738	0,098	6,4	0,545	-0,678	0,003	IN
<b>EC1 (t ha<sup>-1</sup>)</b>	19,9	19,7	11,6	27,8	2,98	15,0	0,042	0,016	0,003	IN
<b>pH1</b>	5,3	5,3	4,6	5,8	0,24	4,5	-0,290	-0,177	0,056	NO
<i>Profundidade de 0,20-0,40 m</i>										
<b>RP2 (MPa)</b>	1,558	1,557	0,710	2,601	0,355	22,8	0,197	0,424	0,088	NO
<b>UG2 (kg kg<sup>-1</sup>)</b>	0,146	0,146	0,116	0,179	0,012	8,2	0,173	0,136	0,779	NO
<b>DS2 (kg dm<sup>-3</sup>)</b>	1,589	1,544	1,326	1,783	0,075	4,7	1,097	-0,130	0,133	NO
<b>EC2 (t ha<sup>-1</sup>)</b>	16,1	16,2	11,6	22,0	2,41	15,0	-0,446	0,088	3.10 <sup>-4</sup>	IN
<b>pH2</b>	5,2	5,2	4,5	6,0	0,25	4,7	0,799	0,152	0,051	NO

<sup>(a)</sup> ALT, RP, UG, DS, EC e pH são respectivamente a altitude do terreno, resistência mecânica à penetração, umidade gravimétrica, densidade do solo, estoque de carbono e potencial hidrogeniônico; <sup>(b)</sup> DF = distribuição de frequência, sendo IN e NO respectivamente do tipo indeterminada e normal.

Fonte: Dados da pesquisa do autor

Ademais, a PRO obtida neste estudo foi superior ainda à média regional para cana de terceiro corte (BRAGA, 2011; GIOIA, 2011). Tal PRO pode ser resultante tanto das condições climáticas durante o ciclo da cultura em campo (Figura 2), com precipitação acumulada de 1365 mm no período e temperatura média de 24,3 °C, quanto da fertilidade do solo (Tabela 2), oriunda da sua correção e da adubação de manutenção da cultura, além da PPM final de 11,5 pl. m<sup>-1</sup> (Tabela 3), considerada adequada à variedade pesquisada, uma vez que esta apresenta ciclo precoce e médio perfilhamento da soqueira (RIDESA, 2010).

Os valores médios para a QPS e para o ECP foram, respectivamente, de 14,9 e 6,09 t ha<sup>-1</sup> (Tabela 3), denotando haver, aproximadamente, 40,9% de Carbono orgânico na constituição química da palhada da cana-de-açúcar. A QPS está de acordo com Lima et al. (1999) e Pellegrini (2002), ao afirmarem que o potencial de palhada produzida pela cana-de-açúcar representa, em média, 14% da massa de colmos (PRO), dependendo das condições de campo (variedade, idade, número de corte e condições edafoclimáticas), assim como está de acordo com Samaniego (2007), que ratificou ser de 0,165 t a quantidade de palhada produzida para cada tonelada de cana-de-açúcar, e com Campos (2003), que avaliou a deposição média anual de palhada de cana-de-açúcar, ao longo de cinco cortes sem queima, e constatou deposição de 13,8 e 12,9 t ha<sup>-1</sup> sobre Latossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico, respectivamente, ao mesmo tempo em que o ECP foi de 2,5 t ha<sup>-1</sup>. Luca et al. (2008) já haviam afirmado que, no sistema de colheita de cana-de-açúcar sem queima, são depositados sobre o solo, de 10 a 15 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de palhada, cuja decomposição rápida afeta o ciclo do carbono e a dinâmica da matéria orgânica.

O ATR apresentou valor médio de 131,8 kg t<sup>-1</sup> (Tabela 3), ficando acima do valor mínimo tido como referência (121,9 kg t<sup>-1</sup>) pelo Consecana (2006), fato justificado por ser uma variedade de ciclo precoce, além de a colheita ter sido realizada em julho, no pico de maturação.

#### 4.1.1.2.2 Atributos do solo

Quando uma variável estatística qualquer possuir distribuição de frequência do tipo normal, a medida de tendência central mais adequada para representá-la deve ser a média. Em contrapartida, será a mediana, ou a média geométrica (ROSA FILHO et al., 2009). Assim, de acordo com a Tabela 4, para os valores presentes de UG (0,146 kg kg<sup>-1</sup>), os valores médios da RP (RP1 de 0,925 MPa e RP2 de 1,558 MPa) são tidos como baixo e moderado, respectivamente, o que não representa restrição ao desenvolvimento radicular das culturas agrícolas em geral, uma vez que somente valores maiores que 2,000 MPa representam restrição (ARSHAD et al., 1996). Os valores crescentes de RP em profundidade provavelmente são efeitos da compactação do solo em subsuperfície decorrentes do uso do maquinário agrícola no preparo do solo, nas sucessivas operações de colheita, adubação e tratamentos fitossanitários.

Os valores de DS (DS1 de 1,551 kg dm<sup>-3</sup> e DS2 de 1,589 kg dm<sup>-3</sup>), apresentados na Tabela 4, também demonstraram ligeira compactação em subsuperfície, distanciando-se dos

valores ideais preconizados por Oliveira e Moniz (1975), pois estes autores observaram que os Argissolos Vermelhos eutróficos, em condições naturais e com a mínima intervenção antrópica, apresentam na superfície (0-0,30 m) valores entre 1,250 e 1,400 kg dm<sup>-3</sup>. O EC (EC1 de 19,7 t ha<sup>-1</sup> e EC2 de 16,2 t ha<sup>-1</sup>) apresentou maior valor em superfície, o que era esperado, uma vez que a principal característica da colheita mecânica da cana-crua é o aumento gradativo no teor da matéria orgânica na camada superficial do solo com o decorrer do tempo, sendo reflexo da quantidade e da qualidade do resíduo vegetal depositado ao longo dos anos. A razão disso decorre do fato da taxa de decomposição da palhada mantida na superfície do solo ser menor do que se fosse incorporada ao solo. Além do mais, a estabilização do EC pela formação de complexos organominerais pode explicar o maior teor nas camadas superficiais (ZINN et al., 2005).

Salienta-se que os valores do EC ora citados estão aquém daquele citado por Chaves e Farias (2008), que o estudaram em um Argissolo Acinzentado distrófico, cultivado ao longo dos anos com cana-de-açúcar, e relataram média de 33,8 t ha<sup>-1</sup>, para a profundidade de 0-0,30 m do solo. Contudo, ficaram compreendidos entre as 14,8 (0-0,10 m) e 49,6 t ha<sup>-1</sup> (0-0,40 m) relacionadas por Pinheiro et al. (2007), que pesquisaram o EC num Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar colhida sem queima e com a manutenção da palhada sobre a superfície do solo durante o período de 14 anos, assim como também entre as 15,8 e 28,1 t ha<sup>-1</sup> (0-0,30 m) mencionadas por Frazão et al. (2010), ao quantificarem-no em um Neossolo Quartzarênico, em diferentes usos agrícolas no cerrado brasileiro (cerrado nativo, duas áreas com plantio convencional de soja, uma área ocupada anteriormente com pastagem e convertida em plantio direto de soja e uma área com pastagem de baixa produtividade).

Adicionalmente, o maior estoque de carbono na superfície do solo, tanto em quantidade como em qualidade, tem implicação gradual nas alterações do pH (associada aos seus teores de cátions de reação básica e carbono orgânico solúvel), conforme salientado por Miyazawa et al. (2000), o que pôde ser confirmado no presente estudo, onde os valores de pH (pH1 de 5,3 e pH2 de 5,2) apresentaram redução em profundidade (Tabela 4), fato já verificado por Costa et al. (2007). Segundo estes autores, a diminuição do pH é decorrente dos menores valores de bases trocáveis em profundidade no solo. Os valores do pH1 e pH2, classificam o solo como de acidez média (RAIJ et al., 1997).

## **4.1.2 Remoção da palhada**

### ***4.1.2.1 Distribuição de frequência dos atributos***

#### ***4.1.2.1.1 Atributos da planta***

A distribuição de frequência foi do tipo normal (Pro, Ppm e Atr) e indeterminada (Qps e Ecp), conforme a Tabela 5. Os coeficientes de assimetria, para os atributos com distribuição de frequência normal, ficaram entre -0,322 (Atr) e 0,309 (Ppm). Para os coeficientes de curtose os valores ficaram entre -0,507 (Pro) e -0,052 (Atr). Desta forma, os referidos atributos foram significativos pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), uma vez que seus valores oscilaram entre 0,174 e 0,449.

#### ***4.1.2.1.2 Atributos do solo***

Somente os atributos do solo Alt, Ec1, Ec2 e pH2 não apresentaram distribuição de frequência do tipo normal (Tabela 6), sendo esta do tipo indeterminada. Em relação aos demais, que apresentaram distribuição de frequência normal, seus coeficientes de assimetria ficaram entre -0,025 (Ds2) e 0,401 (Rp2). Os coeficientes de curtose ficaram entre -0,123 (Ds1) e 0,276 (Ds2), sendo significativos pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), uma vez que as probabilidades ficaram entre 0,065 e 0,958.

Tabela 5: Análise descritiva de atributos da cana-de-açúcar em um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada

Atributo <sup>(a)</sup>	Medidas estatísticas descritivas									
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente			Probabilidade do teste <sup>(b)</sup>	
			Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	DF
	<b>Pro (t ha<sup>-1</sup>)</b>	84,9	84,3	59,3	112,0	10,6	12,5	-0,507	0,090	0,449
<b>Ppm (pl. m<sup>-1</sup>)</b>	10,6	10,4	7,2	15,0	1,73	16,4	-0,348	0,309	0,174	NO
<b>Qps (t ha<sup>-1</sup>)</b>	13,5	12,7	2,5	30,4	13,5	39,6	1,166	0,884	10 <sup>-4</sup>	IN
<b>Ecp (t ha<sup>-1</sup>)</b>	5,31	5,04	0,99	10,65	1,95	36,8	0,562	0,573	0,003	IN
<b>Atr (kg t<sup>-1</sup>)</b>	140,2	140,1	102,39	167,75	12,75	9,1	-0,052	-0,322	0,308	NO

<sup>(a)</sup> Pro, Ppm, Qps, Ecp e Atr são respectivamente a produtividade de colmos por hectare, plantas por metro, quantidade de palhada sobre o solo, estoque de carbono na palhada e açúcares totais recuperáveis; <sup>(b)</sup> DF = distribuição de frequência, sendo NO e IN respectivamente do tipo normal e indeterminada.

Fonte: Dados da pesquisa do autor

Tabela 6: Análise descritiva de atributos físico-químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada

Atributo <sup>(a)</sup>	Medidas estatísticas descritivas								Probabilidade do teste <sup>(b)</sup>	
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente				
			Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	DF
	Alt (m)	348,7	349,0	346,0	351,0	1,19	0,3	-0,890	-0,077	10 <sup>-4</sup>
<i>Profundidade de 0-0,20 m</i>										
Rp1 (MPa)	1,104	1,076	0,425	2,307	0,367	33,3	0,026	0,475	0,071	NO
Ug1 (kg kg <sup>-1</sup> )	0,104	0,104	0,081	0,137	0,011	10,8	0,209	0,373	0,112	NO
Ds1 (kg dm <sup>-3</sup> )	1,554	1,563	1,357	1,743	0,081	5,2	-0,123	-0,217	0,336	NO
Ec1 (t ha <sup>-1</sup> )	17,7	17,4	12,8	23,2	2,08	11,7	-0,031	0,291	0,002	IN
pH1	5,1	5,2	4,5	5,7	0,24	4,6	0,027	0,072	0,065	NO
<i>Profundidade de 0,20-0,40 m</i>										
Rp2 (MPa)	1,904	1,839	0,515	3,433	0,606	31,8	0,024	0,401	0,066	NO
Ug2 (kg kg <sup>-1</sup> )	0,121	0,121	0,092	0,154	0,011	9,5	0,162	0,081	0,958	NO
Ds2 (kg dm <sup>-3</sup> )	1,610	1,615	1,386	1,831	0,079	4,9	0,276	-0,025	0,845	NO
Ec2 (t ha <sup>-1</sup> )	14,6	13,9	9,3	19,7	1,94	13,3	0,291	0,150	7.10 <sup>-4</sup>	IN
pH2	5,2	5,2	4,8	5,6	0,18	3,5	-0,237	0,161	0,004	IN

<sup>(a)</sup> Alt, Rp, Ug, Ds, Ec e pH são respectivamente a altitude do terreno, resistência mecânica à penetração, umidade gravimétrica, densidade do solo, estoque de carbono e potencial hidrogeniônico; <sup>(b)</sup> DF = distribuição de frequência, sendo IN e NO respectivamente do tipo indeterminada e normal.

Fonte: Dados da pesquisa do autor

#### 4.1.2.2 Valores médios dos atributos

##### 4.1.2.2.1 Atributos da planta

A Pro média foi de 84,9 t ha<sup>-1</sup> para uma Ppm de 10,6 pl. m<sup>-1</sup> (Tabela 5), sendo semelhante à produtividade média do estado de São Paulo para a referida safra (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2011). As medianas para a

Qps e para o Ecp foram, respectivamente, de 12,7 e 5,04 t ha<sup>-1</sup>. Em relação à Qps, nota-se que a sua mediana condiz com os valores apresentados por Pellegrini (2002) e Samaniego (2007). Já o Atr médio de 140,2 kg t<sup>-1</sup> corresponde a um acréscimo de 15% ao valor mínimo tido como referência pelo Consecana (2006).

#### 4.1.2.2.2 Atributos do solo

Os valores médios da Rp (Rp1 de 1,104 MPa e Rp2 de 1,904 MPa) são classificados como moderados (ARSHAD et al., 1996), mediante as condições de Ug (Ug1 de 0,104 kg kg<sup>-1</sup> e Ug2 de 0,121 kg kg<sup>-1</sup>) presentes no momento da coleta dos dados (Tabela 6). Os valores crescentes da Ug em profundidade já eram esperados, uma vez que a camada superficial do solo perde água mais intensamente pelo processo de evapotranspiração (MONTANARI et al., 2010). Os valores da Ds (Ds1 de 1,554 kg dm<sup>-3</sup> e Ds2 de 1,610 kg dm<sup>-3</sup>) também demonstraram aumento em subsuperfície, além de serem, em média, 19,4% superiores aos valores citados por Oliveira e Moniz (1975) para o solo em questão.

O Ec (Ec1 de 17,4 t ha<sup>-1</sup> e Ec2 de 13,9 t ha<sup>-1</sup>) teve maior valor na superfície do solo (Tabela 6). Contudo, tanto o Ec1 quanto o Ec2, ficaram bem abaixo das médias alcançadas por Gioia (2011), que avaliou o EC de um Argissolo Vermelho distrófico do noroeste Paulista cultivado com cana-de-açúcar no 3º corte, colhida após queima, e verificou variação entre 26,1 (0-0,20 m) e 24,9 t ha<sup>-1</sup> (0,20-0,40 m), fato plenamente justificado, no presente estudo, pela remoção da palhada no ano anterior, culminando em baixo incremento de matéria orgânica no solo, além do fato de que esta autora utilizou metodologia distinta na determinação do EC.

Considerando o EC até 0,40 m de profundidade, observa-se que, provavelmente, a contribuição com maior adição de Carbono no solo foi do sistema radicular da cultura da cana, que apesar de não quantificado neste estudo, foi observado por outros autores maior quantidade de raízes da cana nessa profundidade de solo (ALVAREZ et al., 2000; PINHEIRO et al., 2007), uma vez que toda palhada fora retirada de sua superfície.

Em relação ao pH (pH1 de 5,1 e pH2 de 5,2), nota-se que a superfície do solo apresentou-se ligeiramente mais ácida que a subsuperfície (Tabela 6), efeito da remoção da palhada.

### **4.1.3 Análise da distribuição de frequência e valores médios entre os tratamentos**

Por meio da distribuição de frequência dos dados foi possível observar o desempenho dos tratamentos. Desta forma, notou-se que 68,8% dos atributos pesquisados apresentaram distribuição de frequência do tipo normal na MAP. Em contrapartida, na REP, a distribuição de frequência do tipo normal foi observada para 62,5% dos atributos (Tabelas 3 a 6). Os atributos que apresentaram distribuição de frequência normal em ambos os tratamentos foram a PRO, PPM, ATR, UG1, pH1, RP2, UG2 e DS2.

Em relação às médias, a MAP apresentou os maiores valores para os seguintes atributos da planta: PRO, PPM, QPS e ECP, representando 80% do total. Por outro lado, considerando os atributos do solo, menores valores de RP1, DS1, RP2 e DS2, assim como maiores valores de UG1, EC1, pH1, UG2 e EC2, foram constatados na MAP (Tabelas 3 a 6). Tais constatações devem-se ao efeito benéfico da manutenção da palhada sobre a superfície do solo.

## **4.2 ANÁLISE DA SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA ENTRE OS ATRIBUTOS DOS TRATAMENTOS SOB MANUTENÇÃO E REMOÇÃO DA PALHADA**

### **4.2.1 Atributos da planta**

Para todos os atributos da planta houve efeito dos tratamentos (Tabela 7), indicados pelos valores de F da análise de variância, sendo significativos a 5% (QPS) e 1% de probabilidade (PRO, PPM, ECP e ATR). Assim, nota-se que a PRO sob a MAP foi 11,4% superior à obtida na REP, da mesma forma que a PPM, a QPS e o ECP foram superiores em 9,5; 10,4 e 14,7%, respectivamente. As referidas superioridades ocorreram devido à manutenção de toda a palhada do cultivo anterior sob a área, o que proporcionou o aumento nos teores de matéria orgânica do solo (Tabelas 2 e 4), haja vista toda a sua importância para as características físicas, químicas e biológicas do solo, bem como para a cultura da cana-de-açúcar (LUCA et al., 2008; MENDONZA et al., 2000; OLIVEIRA et al., 1999).

Tabela 7: Teste F aplicado aos atributos da cana-de-açúcar e de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção e remoção da palhada

Atributo <sup>(a)</sup>	F Calculado <sup>(b)</sup>	Valores médios <sup>(c)</sup>	
		Manutenção da palhada	Remoção da palhada
PRO (t ha <sup>-1</sup> )	<b>45,9**</b>	94,6 ± 1,03	84,9 ± 0,97
PPM (pl. m <sup>-1</sup> )	<b>16,0**</b>	11,5 ± 0,15	10,5 ± 0,16
QPS (t ha <sup>-1</sup> )	<b>5,2*</b>	14,9 ± 0,4	13,5 ± 0,5
ECP (t ha <sup>-1</sup> )	<b>11,0**</b>	6,09 ± 0,16	5,31 ± 0,18
ATR (kg t <sup>-1</sup> )	<b>21,6**</b>	131,8 ± 1,3	140,2 ± 1,2
RP1 (MPa)	<b>10,5**</b>	0,962 ± 0,029	1,104 ± 0,033
RP2 (MPa)	<b>29,7**</b>	1,558 ± 0,032	1,904 ± 0,055
UG1 (kg kg <sup>-1</sup> )	<b>454,1**</b>	0,146 ± 0,001	0,104 ± 0,001
UG2 (kg kg <sup>-1</sup> )	<b>213,2**</b>	0,146 ± 0,001	0,121 ± 0,001
DS1 (kg dm <sup>-3</sup> )	2,5	1,535 ± 0,009	1,554 ± 0,007
DS2 (kg dm <sup>-3</sup> )	<b>4,0*</b>	1,589 ± 0,007	1,610 ± 0,007
EC1 (t ha <sup>-1</sup> )	<b>44,0**</b>	19,9 ± 0,27	17,7 ± 0,19
EC2 (t ha <sup>-1</sup> )	<b>29,0**</b>	16,1 ± 0,22	14,6 ± 0,18
pH1	<b>23,3**</b>	5,3 ± 0,02	5,1 ± 0,02
pH2	3,1	5,2 ± 0,02	5,2 ± 0,02

<sup>(a)</sup> Vide Tabelas 3 e 4; <sup>(b)</sup> \* Significativo a 5%, \*\* Significativo a 1%; <sup>(c)</sup> Valores médios ± erro padrão da média.

Fonte: Dados da pesquisa do autor

#### 4.2.2 Atributos do solo

Em relação aos atributos do solo, somente a DS1 e o pH2 não apresentaram significância estatística pelo teste F (Tabela 7). Em contrapartida, os demais atributos (80%) diferiram entre os tratamentos, sendo significativos a 5% (DS2) e 1% de probabilidade (RP1, RP2, UG1, UG2, EC1, EC2 e pH1). Tal resultado é de extrema relevância, uma vez que ratifica a importância da manutenção da palhada da cana-de-açúcar sob o solo, o que já havia

sido relatado por Mendonza et al. (2000), Canellas et al. (2010) e Correia e Alleoni (2011), ao citarem seus benefícios no âmbito do manejo e da conservação do solo.

Assim, nota-se que a RP1, RP2 e a DS2 sob a MAP, apresentaram valores médios de 11,4; 18,2 e 1,3% inferiores aos valores médios da REP, da mesma forma em que a UG1, UG2, EC1, EC2 e pH1 foram superiores em 40,4; 20,7; 12,4; 10,3 e 3,9%, respectivamente. Tais resultados são de grande relevância para o manejo agrícola da cultura da cana-de-açúcar, haja vista que os atributos ora mencionados possuem estreita relação com o desenvolvimento e produtividade vegetal (BENGOUGH et al., 2001; DALCHIAVON et al., 2011a,b ; MONTANARI et al., 2010; 2012).

#### **4.2.3 Comparações entre os tratamentos**

Ao comparar os dados obtidos em função dos tratamentos estudados, nota-se que 87% dos atributos pesquisados evidenciaram significância estatística atestada pelo teste F (Tabela 7). Assim, ficou nitidamente comprovado que o tratamento MAP foi o que melhor se apresentou do ponto de vista da conservação do solo, com reflexo direto sobre o desempenho superior da cultura da cana-de-açúcar, traduzindo-se em maiores produtividades e, por consequência, maior retorno econômico ao produtor rural.

### **4.3 ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE OS ATRIBUTOS**

#### **4.3.1 Regressão linear simples**

##### ***4.3.1.1 Matriz de correlação linear simples entre os atributos***

###### ***4.3.1.1.1 Manutenção da palhada***

Estão apresentadas nas Tabelas 8 e 9, as matrizes de correlação linear simples entre os atributos da cultura da cana-de-açúcar (PRO, PPM, QPS, ECP e ATR) e os do solo (ALT, RP, UG, DS, EC e pH) para a MAP.

#### 4.3.1.1.1.1 Atributos da planta *versus* atributos da planta

Dentre as correlações dos atributos da planta (Tabela 8), foram significativos os pares PRO  $\times$  PPM ( $r = 0,725^{**}$ ) e ECP  $\times$  QPS ( $r = 0,990^{**}$ ), demonstrando que a PPM foi o atributo da planta que proporcionou o maior incremento da PRO. Tanto Braga (2011) quanto Gioia (2011) já haviam descrito correlação linear positiva entre a PRO  $\times$  PPM.

#### 4.3.1.1.1.2 Atributos da planta *versus* atributos do solo

As correlações entre a PRO e os atributos físico-químicos do solo (Tabelas 8 e 9) apresentaram significância para os pares PRO  $\times$  UG1 ( $r = 0,231^{**}$ ) e PRO  $\times$  DS1 ( $r = 0,305^{**}$ ). Tais correlações apresentaram comportamento direto, indicando que com o aumento dos valores dos referidos atributos do solo (causa), haverá também um aumento da PRO (efeito), sendo o inverso verdadeiro. Em outras palavras, os valores de DS1 (Tabela 4) verificados por ocasião da coleta de dados, ainda que classificados como altos (OLIVEIRA; MUNIZ, 1975), não foram altos o suficiente a ponto de prejudicar a produtividade final da cana-de-açúcar. Em se tratando da UG, Souza et al. (2008) também constataram correlação linear positiva significativa entre esta e a PRO.

#### 4.3.1.1.1.3 Atributos do solo *versus* atributos do solo

As correlações entre os atributos físico-químicos do solo estão apresentadas nas Tabelas 8 e 9. A ALT apresentou correlações negativas significativas, sendo elas: 1) ALT  $\times$  EC1 ( $r = -0,259^{**}$ ), 2) ALT  $\times$  UG2 ( $r = -0,394^{**}$ ) e 3) ALT  $\times$  EC2 ( $r = -0,211^*$ ), assim como a 4) UG2  $\times$  DS2 ( $r = -0,255^{**}$ ). Souza et al. (2008) verificaram resultados divergentes para as correlações da altitude do terreno com o teor de matéria orgânica e com a umidade do solo, ou seja, as correlações foram diretas, o que pode ter ocorrido em função de o estudo ter sido desenvolvido em um Latossolo Vermelho-Amarelo. Por outro lado, as correlações positivas estabelecidas no presente estudo foram: 5) RP1  $\times$  DS1 ( $r = 0,285^{**}$ ), 6) RP1  $\times$  pH1 ( $r = 0,212^*$ ) e 7) RP2  $\times$  DS2 ( $r = 0,216^*$ ), concordando com Montanari et al. (2010; 2012) que também indicaram haver correlação positiva entre RP  $\times$  DS.

Tabela 8: Matriz de correlação dos atributos da cana-de-açúcar e físico-químicos, na profundidade de 0-0,20 m, de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada

Atributo <sup>(a)</sup>	Coeficiente de correlação <sup>(b)</sup>									
	PRO	PPM	QPS	ECP	ATR	ALT	RP1	UG1	DS1	EC1
PPM	<b>0,725**</b>									
QPS	-0,115	-0,032								
ECP	-0,113	-0,031	<b>0,990**</b>							
ATR	-0,054	-0,103	-0,020	-0,027						
ALT	0,006	0,004	0,069	0,058	-0,08					
RP1	-0,107	-0,117	-0,169	-0,157	-0,047	0,071				
UG1	<b>0,231**</b>	0,148	0,067	0,057	0,065	-0,079	-0,099			
DS1	<b>0,305**</b>	0,159	-0,051	-0,025	0,002	-0,052	<b>0,285**</b>	-0,039		
EC1	-0,005	0,035	-0,122	-0,118	0,081	<b>-0,259**</b>	0,085	0,105	-0,099	
pH1	-0,027	-0,005	-0,053	-0,026	0,081	-0,111	<b>0,212*</b>	0,002	0,177	0,002

<sup>(a)</sup> Vide Tabelas 3 e 4; <sup>(b)</sup> \*\* significativo a 1%, \* significativo a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa do autor

Tabela 9: Matriz de correlação dos atributos da cana-de-açúcar e físico-químicos, na profundidade de 0,20-0,40 m, de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada

Atributo <sup>(a)</sup>	Coeficiente de correlação <sup>(b)</sup>									
	PRO	PPM	QPS	ECP	ATR	ALT	RP2	UG2	DS2	EC2
RP2	-0,032	-0,114	-0,066	-0,058	-0,024	0,098				
UG2	0,019	0,148	0,134	0,144	0,006	<b>-0,394**</b>	-0,139			
DS2	-0,028	0,025	0,054	0,039	0,057	0,098	<b>0,216*</b>	<b>-0,255**</b>		
EC2	0,032	0,069	-0,077	-0,066	-0,010	<b>-0,211*</b>	-0,031	-0,120	-0,067	
pH2	0,046	0,049	0,128	0,134	0,043	0,114	-0,099	0,149	0,079	-0,056

<sup>(a)</sup> Vide Tabelas 3 e 4; <sup>(b)</sup> \*\* significativo a 1%, \* significativo a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa do autor

#### 4.3.1.1.2 Remoção da palhada

As matrizes de correlação linear simples entre os atributos da cultura da cana-de-açúcar (Pro, Ppm, Qps, Ecp e Atr) e os do solo (Alt, Rp, Ug, Ds, Ec e pH) para a REP, estão apresentadas nas Tabelas 10 e 11.

##### 4.3.1.1.2.1 Atributos da planta *versus* atributos da planta

A Pro apresentou as seguintes correlações positivas significativas (Tabela 10): 1) Pro x Ppm ( $r = 0,769^{**}$ ), 2) Pro x Qps ( $r = 0,283^{**}$ ) e 3) Pro x Ecp ( $r = 0,269^{**}$ ). Outras correlações positivas e significativas também foram evidenciadas, sendo: 4) Ppm x Qps ( $r = 0,197^{*}$ ), 5) Ppm x Ecp ( $r = 0,192^{*}$ ) e 6) Qps x Ecp ( $r = 0,902^{**}$ ). Em contrapartida, o Ecp firmou correlação negativa com o Atr ( $r = -0,180^{*}$ ), o que possivelmente está associada ao fato de que a palhada removida funcionou como dreno do Carbono fixado fotossinteticamente que outrora poderia ser utilizado para a produção de sacarose pela cana-de-açúcar.

4.3.1.1.2.2 Atributos da planta *versus* atributos do solo

As Tabelas 10 e 11 indicaram que somente a Pro correlacionou-se com os atributos físico-químicos do solo, cujas correlações foram direta (Pro  $\times$  Ds1;  $r = 0,211^*$ ) e inversa (Pro  $\times$  pH1;  $r = -0,179^*$ ). Os valores de Ds1 (Tabela 6), novamente, não interferiram negativamente na produtividade final da cana-de-açúcar. Correlação inversa entre a Pro  $\times$  pH até a profundidade de 0,20 m também foi averiguada por Souza et al. (2008).

A Pro correlacionou-se ainda, positivamente, com a Alt do terreno (Pro  $\times$  Alt;  $r = 0,303^{**}$ ), conforme visualiza-se na Tabela 10. Souza et al. (2010a) já haviam encontrado correlação positiva entre a Pro  $\times$  Alt do terreno, indicando que, nas áreas menos elevadas do talhão, a produtividade da cana-de-açúcar é menor. Montezano et al. (2008) também verificaram que a altitude do terreno proporcionou correlação positiva com a produtividade, mas de milho, demonstrando que essa variável influencia o fluxo da água no solo, diretamente associado à produtividade das culturas.

Tabela 10: Matriz de correlação dos atributos da cana-de-açúcar e físico-químicos, na profundidade de 0-0,20 m, de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada

Atributo <sup>(a)</sup>	Coeficiente de correlação <sup>(b)</sup>									
	Pro	Ppm	Qps	Ecp	Atr	Alt	Rp1	Ug1	Ds1	Ec1
Ppm	<b>0,769**</b>									
Qps	<b>0,283**</b>	<b>0,197*</b>								
Ecp	<b>0,269**</b>	<b>0,192*</b>	<b>0,902**</b>							
Atr	-0,098	-0,018	-0,154	<b>-0,180*</b>						
Alt	<b>0,303**</b>	0,110	0,149	0,178	-0,130					
Rp1	0,081	0,017	0,140	0,114	-0,140	-0,039				
Ug1	0,146	0,096	0,069	0,012	0,065	-0,146	0,067			
Ds1	<b>0,211*</b>	0,116	0,077	0,059	-0,129	0,068	<b>0,500**</b>	<b>0,267**</b>		
Ec1	-0,143	-0,050	0,005	-0,056	0,061	<b>-0,183*</b>	-0,017	<b>0,213*</b>	-0,105	
pH1	<b>-0,179*</b>	-0,129	-0,028	-0,077	0,117	<b>-0,306**</b>	0,041	<b>0,261**</b>	0,021	<b>0,205*</b>

<sup>(a)</sup> Vide Tabelas 5 e 6; <sup>(b)</sup> \*\* significativo a 1%, \* significativo a 5%.

Tabela 11: Matriz de correlação dos atributos da cana-de-açúcar e físico-químicos, na profundidade de 0,20-0,40 m, de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada

Atributo <sup>(a)</sup>	Coeficiente de correlação <sup>(b)</sup>									
	Pro	Ppm	Qps	Ecp	Atr	Alt	Rp2	Ug2	Ds2	Ec2
Rp2	0,091	-0,027	-0,008	-0,038	-0,101	<b>0,200*</b>				
Ug2	0,155	0,143	0,108	0,097	0,039	-0,139	<b>-0,291**</b>			
Ds2	0,094	0,129	-0,003	-0,014	-0,152	0,072	<b>0,464**</b>	<b>-0,235**</b>		
Ec2	-0,068	-0,077	0,026	-0,047	0,007	<b>-0,245**</b>	0,139	-0,031	-0,082	
pH2	-0,020	0,007	0,051	0,021	0,040	0,088	0,060	0,061	<b>0,192*</b>	-0,134

<sup>(a)</sup> Vide Tabelas 5 e 6; <sup>(b)</sup> \*\* significativo a 1%, \* significativo a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa do autor

#### 4.3.1.1.2.3 Atributos do solo *versus* atributos do solo

Estão apresentadas nas Tabelas 10 e 11 as correlações entre os atributos físico-químicos do solo. A Alt apresentou as seguintes correlações negativas significativas: 1) Alt x Ec1 ( $r = -0,183^*$ ), 2) Alt x pH1 ( $r = -0,306^{**}$ ) e 3) Alt x Ec2 ( $r = -0,245^{**}$ ), assim como a positiva 4) Alt x Rp2 ( $r = 0,200^*$ ). Tais correlações indicaram que regiões mais baixas apresentaram maior EC, o que condiz com o maior acúmulo de matéria orgânica nas baixadas, com a consequente implicação gradual desta na alteração do pH (MIYAZAWA et al., 2000), o que também já havia sido constatado tanto por Dalchiavon (2010) quanto por Dalchiavon et al. (2011b).

Em se tratando das demais correlações significativas, as positivas foram: 5) Rp1 x Ds1 ( $r = 0,500^{**}$ ), 6) Ug1 x Ds1 ( $r = 0,267^{**}$ ), 7) Ug1 x Ec1 ( $r = 0,213^*$ ), 8) Ug1 x pH1 ( $r = 0,261^{**}$ ), 9) Ec1 x pH1 ( $r = 0,205^*$ ), 10) Rp2 x Ds2 ( $r = 0,464^{**}$ ) e 11) Ds2 x pH2 ( $r = 0,192^*$ ), assim como as negativas 12) Rp2 x Ug2 ( $r = -0,291^{**}$ ) e 13) Ug2 x Ds2 ( $r = -0,235^*$ ). Neste contexto, Montanari et al. (2010; 2012) igualmente relataram correlações significativas entre Rp x Ds, Rp x Ug e Ug x Ds, o que é comum, uma vez que o trio (resistência, umidade gravimétrica e densidade do solo) são interdependentes.

### 4.3.1.2 Regressão linear simples entre os atributos

#### 4.3.1.2.1 Manutenção da palhada

As equações de regressão entre a PRO (variável dependente) e os atributos PPM, UG1 e DS1 (variáveis independentes) estão apresentadas na Figura 10, modeladas em função da significância da matriz de correlação apresentada na Tabela 8.

A equação modelada para a PRO  $\times$  PPM foi representada pelo modelo polinomial do tipo potencial direta (Figura 10a), discordando tanto de Braga (2011) quanto de Gioia (2011), que detectaram modelo do tipo quadrático e exponencial, respectivamente. O coeficiente de correlação apresentou elevado valor, tendo em vista o alto número de observações ( $r = 0,740^{**}$ ;  $n = 121$ ). Assim, 74,0% da variação da PRO puderam ser explicadas pela variação da PPM. É possível observar que variando a PPM entre 7,9 e 15,8 pl.  $m^{-1}$  (Tabela 3), a estimativa da PRO passará de 76,0 a 114,2 t  $ha^{-1}$ , respectivamente. Analogamente, ao considerar o valor médio da PPM (11,5 pl.  $m^{-1}$ ) obtido neste experimento, poderá ser estimada a PRO de 94,8 t  $ha^{-1}$ , valor muito semelhante à PRO obtida nesta pesquisa.

A equação da PRO  $\times$  UG1 foi explicada pelo modelo exponencial direto (Figura 10b), ou seja, a PRO aumentou exponencialmente à medida que o conteúdo de água no solo também aumentou na profundidade de 0-0,20 m ( $r = 0,235^{**}$ ). Desta forma, seus valores variaram entre 87,1 e 103,0 t  $ha^{-1}$ , quando a UG1 do solo passou de 0,106 a 0,194 kg  $kg^{-1}$  (Tabela 4), assim como foi de 94,0 t  $ha^{-1}$  para a UG1 de 0,146 kg  $kg^{-1}$ . Em relação a DS1, a PRO respondeu linear e positivamente aos incrementos dos seus valores ( $r = 0,305^{**}$ ; Figura 10c), assumindo desde o valor mínimo de 84,6 (1,256 kg  $dm^{-3}$ ) até 101,7 t  $ha^{-1}$  (1,738 kg  $dm^{-3}$ ), passando pelo valor de 95,1 t  $ha^{-1}$  (1,551 kg  $dm^{-3}$ ). O aumento na DS1 pode ter beneficiado o contato raiz-solo, por isso sua correlação positiva, assim como a correlação positiva da PRO com a UG1, levando-se a inferir que houve benefício de aumento da DS1 na disponibilidade hídrica e, portanto, provável melhoria na absorção de nutrientes da solução do solo.

Em se tratando das equações de regressão entre os atributos do solo (Figura 11), verifica-se que tanto o EC1, quanto a UG2 e o EC2 evidenciaram correlações inversas com a ALT, indicando que regiões de menores ALT apresentam maiores EC1 e EC2, bem como maior conteúdo de UG2, sendo o inverso verdadeiro (Figura 11a-c), o que pode ser explicado em virtude de que em áreas de altitudes inferiores ocorrem menores taxas de decomposição e mineralização da matéria orgânica do solo, conservando, portanto, a sua umidade (GATTO et

al., 2010). As referidas regressões resultaram em modelos do tipo linear (EC1 x ALT; UG2 x ALT;) e quadrático (EC2 x ALT).

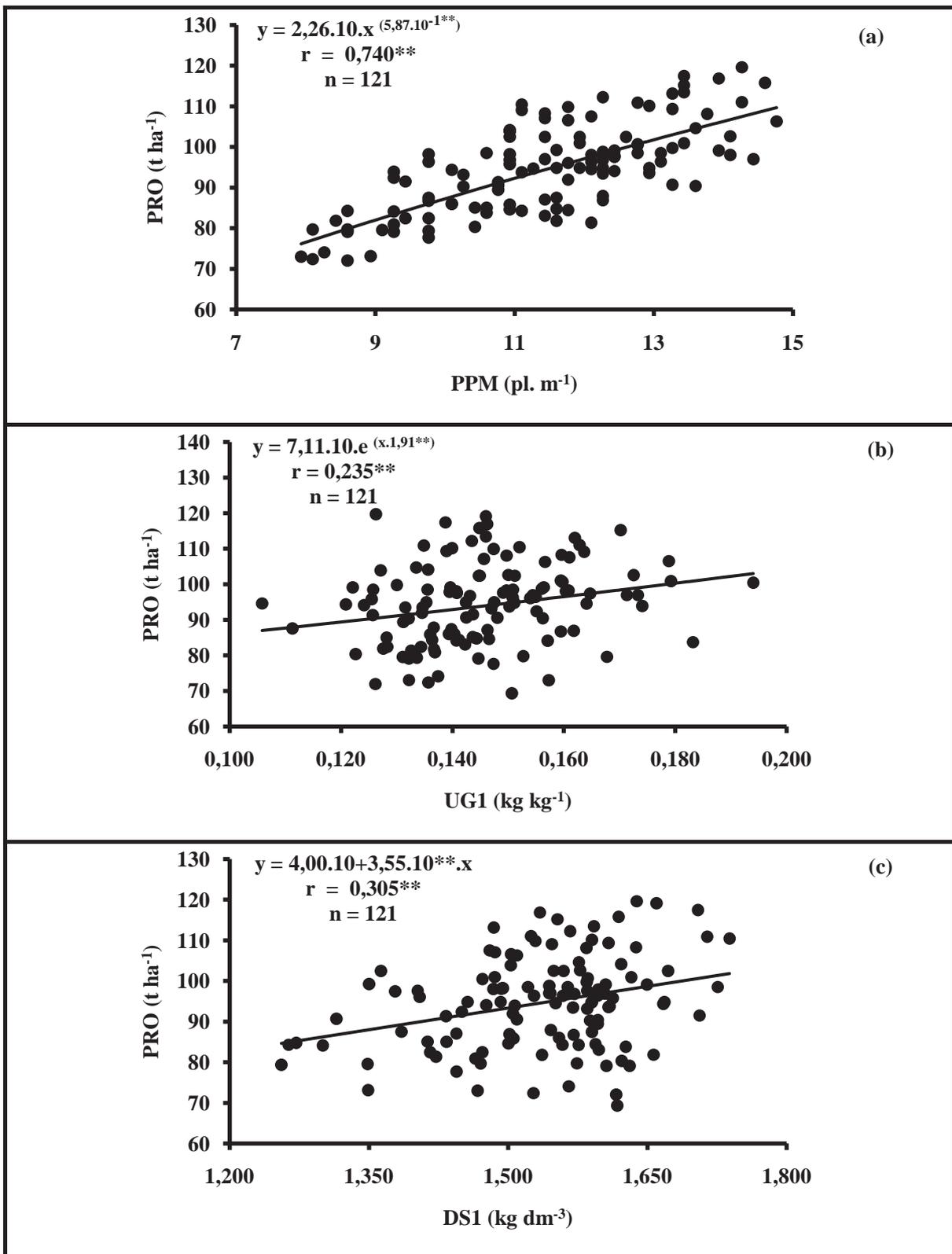
#### 4.3.1.2.2 Remoção da palhada

As equações de regressão entre a Pro e os demais atributos da planta estão apresentadas na Figura 12, modeladas em função da significância da matriz de correlação apresentada na Tabela 10.

Assim, a Pro x Ppm foi representada por um modelo polinomial quadrático (Figura 12a), concordando com Braga (2011), entretanto, diferiu do modelo obtido por Gioia (2011). O coeficiente de determinação apresentou elevado valor ( $R^2 = 0,626^{**}$ ), com ponto de máximo estabelecido em 15,2 pl. m<sup>-1</sup>. É oportuno frisar que a determinação da Ppm ideal é um fator de extrema importância fitotécnica por apresentar estreita relação com incrementos na produção de colmos. Utilizando-se a equação nota-se ainda que a Pro variou entre 63,6 e 97,7 t ha<sup>-1</sup> quando a Ppm esteve entre 7,2 e 15,0 pl. m<sup>-1</sup> (Tabela 5), ao passo que para a Ppm média (10,6 pl. m<sup>-1</sup>) a Pro foi de 86,4 t ha<sup>-1</sup>, valor próximo à Pro obtida neste estudo.

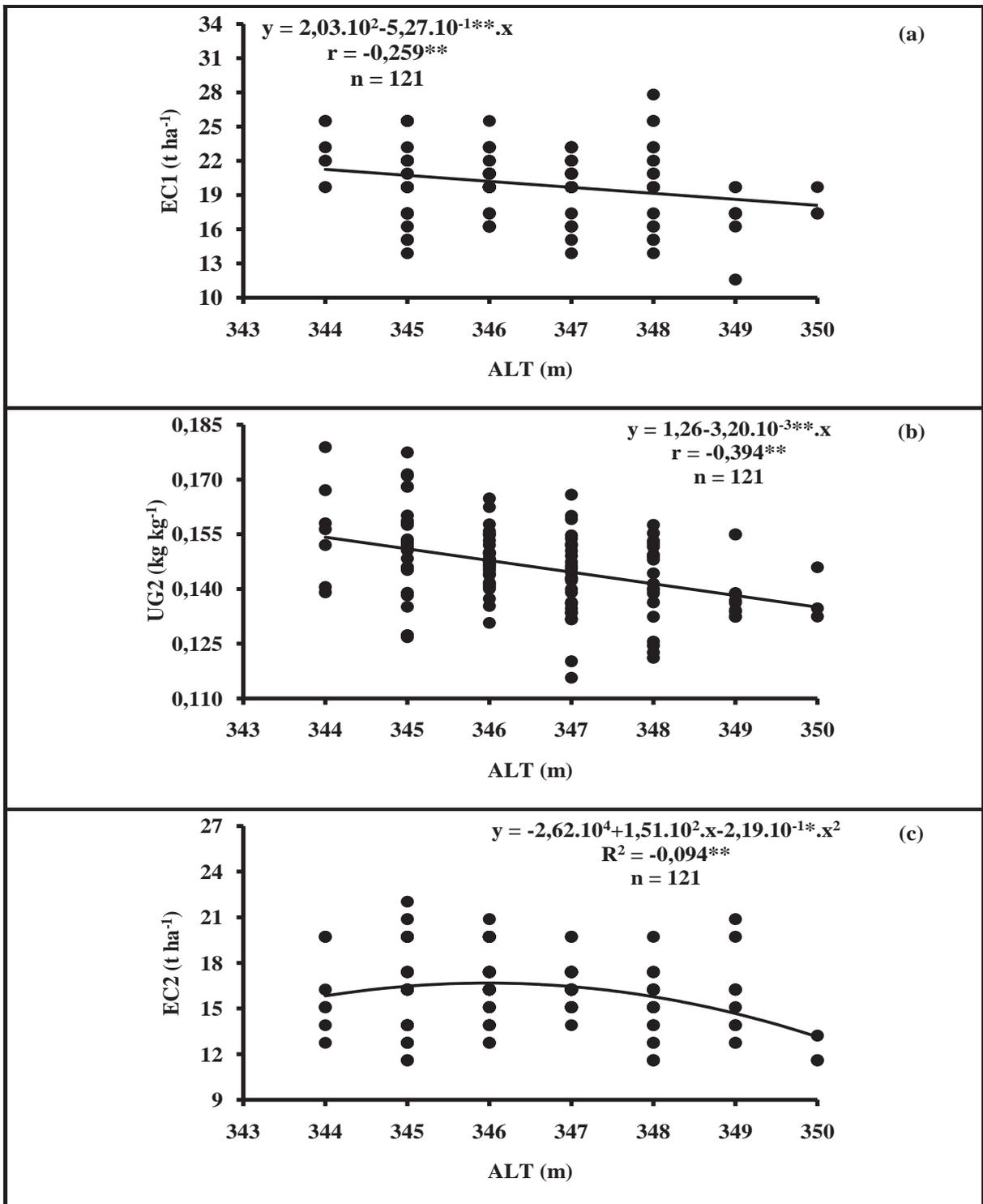
A equação da Pro x Qps foi explicada pelo modelo potencial direto (Figura 12b), com coeficiente de correlação  $r = 0,235^{**}$ . Tal equação é importante ao auxílio da estimativa da Pro do próximo ciclo da cultura (próximo corte), de modo que a Pro deverá estar compreendida entre 72,2 e 91,9 t ha<sup>-1</sup>, quando a Qps apresentar variação de 2,5 a 30,4 t ha<sup>-1</sup> (Tabela 5), ou ainda, será de 84,5 t ha<sup>-1</sup> para a Qps de 12,7 t ha<sup>-1</sup>. Da mesma forma que para a regressão anterior, a aplicação da equação quadrática contida na Figura 12c, cujo ponto de máximo ficou estabelecido em 8,0 t ha<sup>-1</sup>, poderá auxiliar na estimativa da Pro do próximo ano agrícola em função do Ecp. Assim, a Pro máxima será de 88,7 t ha<sup>-1</sup>, para o Ecp de 7,99 t ha<sup>-1</sup>.

Figura 10: Equações de regressão entre atributos da cana-de-açúcar e de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 11: Equações de regressão entre atributos de um Argissolo Vermelho eutrófico (ALT, UG2, EC1 e EC2) de Rubinéia (SP) sob cultivo de cana-de-açúcar com manutenção da palhada



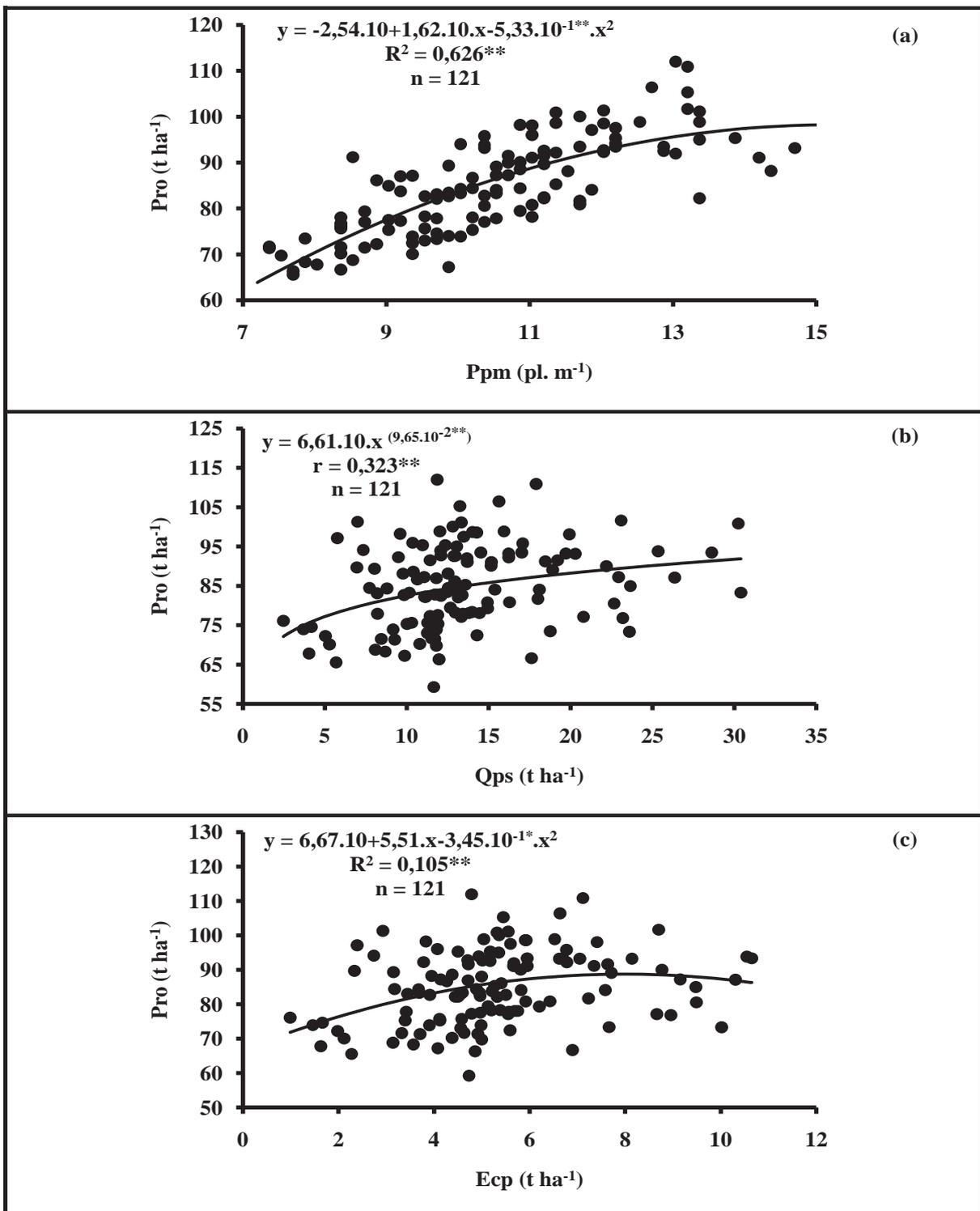
Fonte: Dados da pesquisa do autor

As demais regressões entre os atributos da planta, que não a Pro, estão apresentadas na Figura 13a-c. Tanto a Qps quanto o Ecp foram explicados direta e potencialmente pela Ppm, ou seja, incrementos na Ppm refletirão tanto no aumento da Qps quanto do seu Ecp (Figura 13a,b). Entretanto, o aumento no Ecp pode não ser importante do ponto de vista industrial, uma vez que influenciará negativamente no Atr (Figura 13c), que é o principal responsável pelo rendimento industrial, bem como pelo pagamento da matéria-prima, na fabricação tanto do etanol quanto do açúcar (DIEESE, 2007). Isso pode ser facilmente entendido quando se verifica que o Atr decresceu substancialmente ao passar de 133,6 para 56,2 kg t<sup>-1</sup>, quando o Ecp passou de 0,99 a 10,65 t ha<sup>-1</sup> (Tabela 5), representando decréscimo de 238%, certamente prejudicial à indústria canavieira, o que não aconteceria caso parte desse Carbono fosse incorporado à cadeia carbônica da sacarose.

Para a Alt ( $r = 0,310^{**}$ ) e para a Ds1 ( $r = 0,211^{*}$ ), a Pro respondeu de forma potencial e linear direta, respectivamente (Figura 14a,b). Em relação à Alt, o valor mínimo da Pro foi 76,3 t ha<sup>-1</sup> (346 m), ao passo que para as regiões de maiores Alt (351 m), a Pro chegou a 90,0 t ha<sup>-1</sup>, o que pode ter ocorrido em função da melhor drenagem nesses locais, além da ocorrência de temperaturas mais amenas. Considerando a Ds1, a Pro também teve seus valores variando entre 79,6 (1,357 kg dm<sup>-3</sup>) e 90,2 t ha<sup>-1</sup> (1,743 kg dm<sup>-3</sup>), o que ocorreu em virtude do aumento do contato raiz-solo, beneficiando a absorção de água e nutrientes pela raiz.

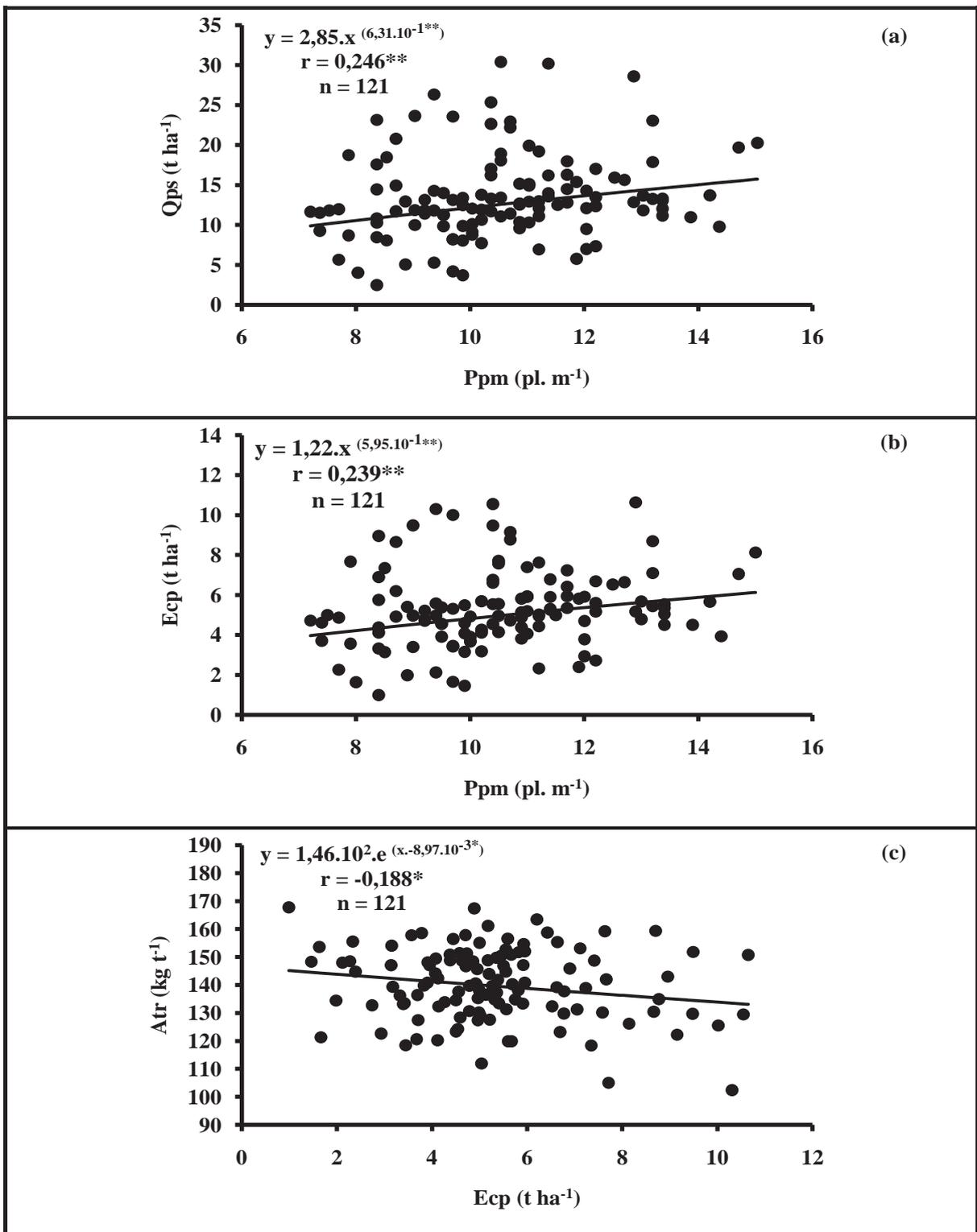
Para as equações de regressão entre os atributos do solo, averiguou-se que as regiões de menores Alt foram às mesmas onde se encontraram os maiores Ec1 e Ec2 (Figura 15a-c), sendo o inverso verdadeiro. Por outro lado, essas regiões de maiores estoques de Ec1, foram os locais de maiores conteúdos de Ug1, representando importante reserva de água disponível às plantas (Figura 15b). Isso já havia sido constatado por Gatto et al. (2010), pois em regiões de altitudes inferiores ocorrem menores taxas de decomposição e mineralização da matéria orgânica do solo, possibilitando maior retenção de umidade.

Figura 12: Equações de regressão entre atributos da cana-de-açúcar (Pro, Ppm, Qps e Ecp) em um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada



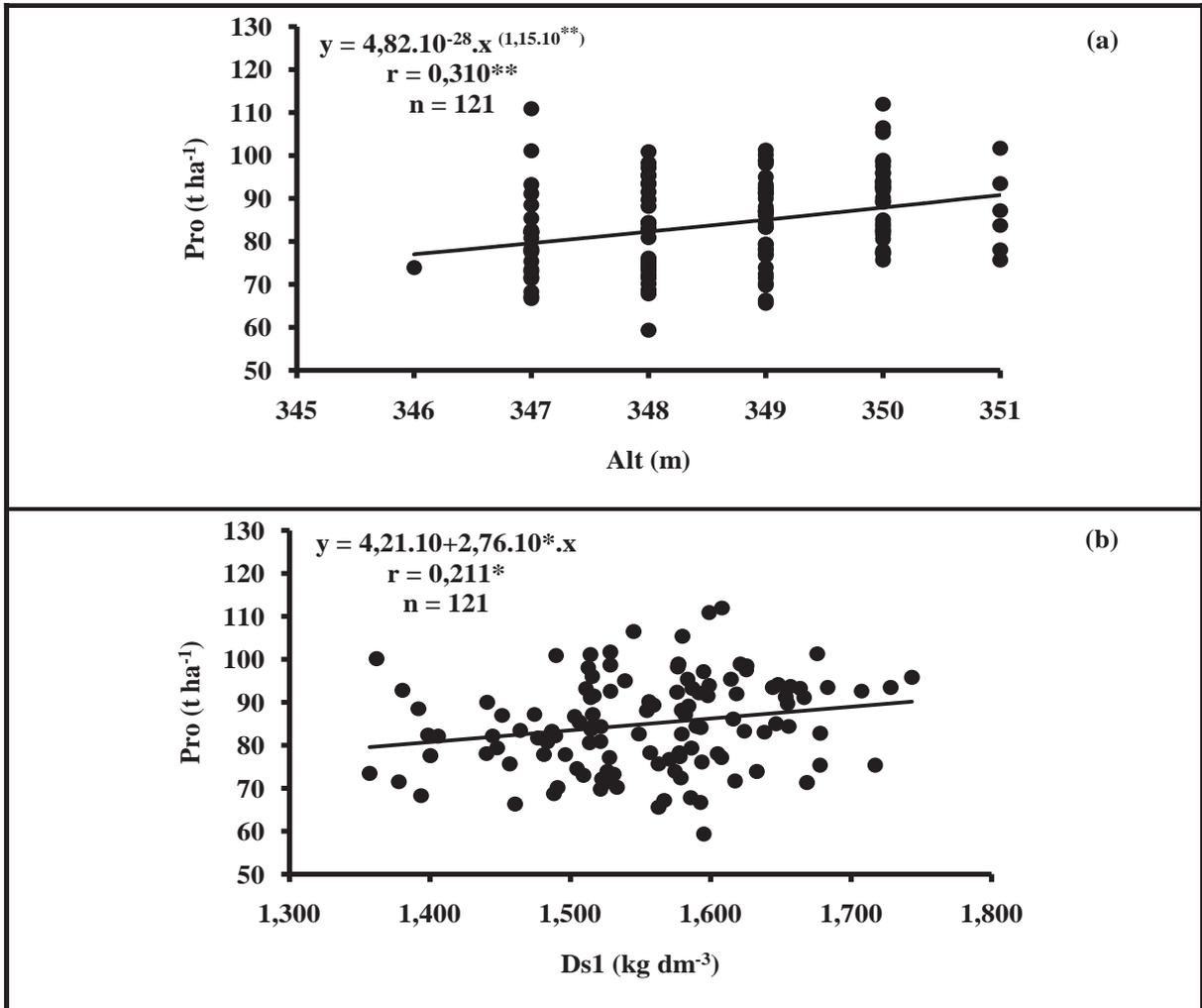
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 13: Equações de regressão entre atributos da cana-de-açúcar (Ppm, Qps, Ecp e Atr) em um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada



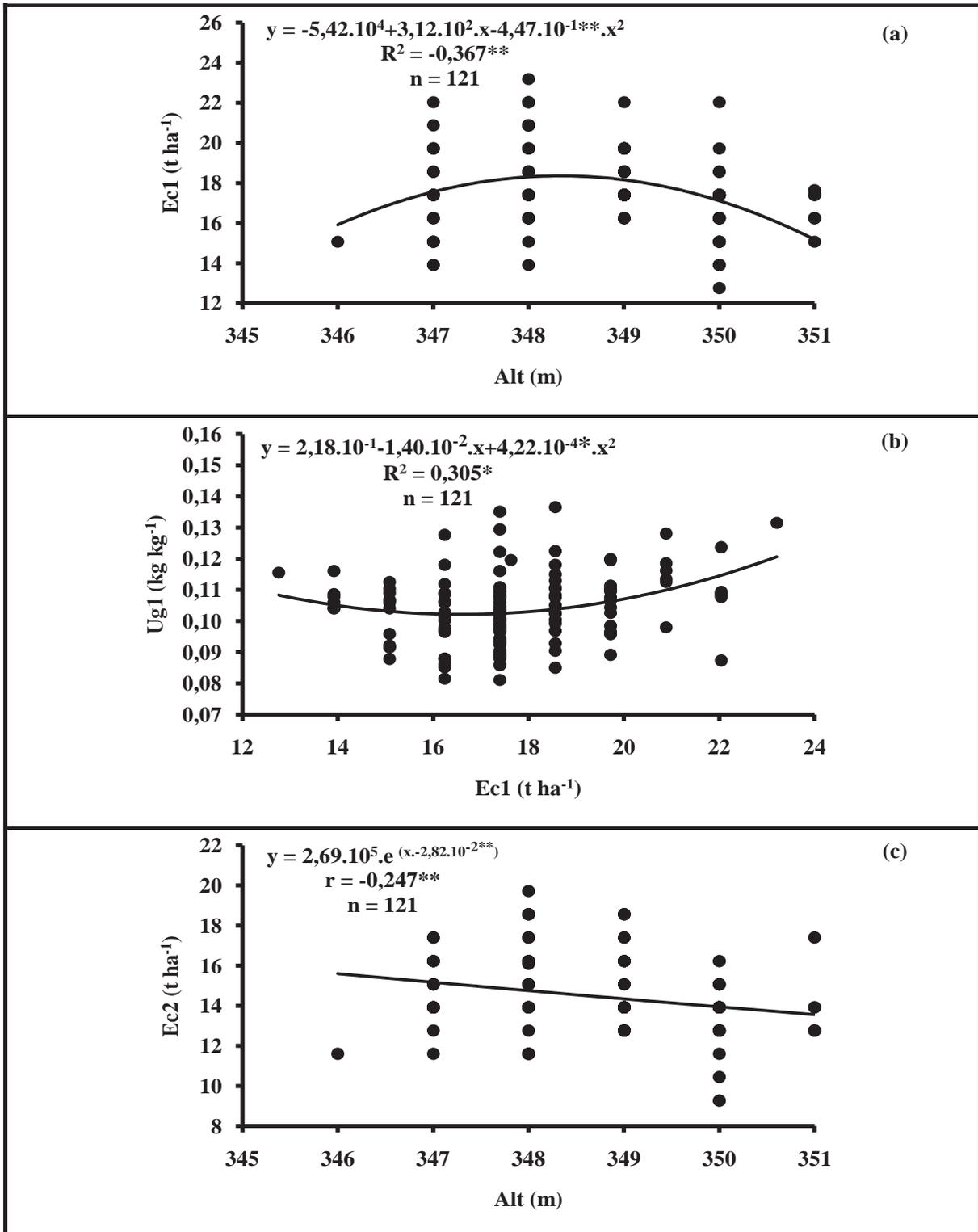
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 14: Equações de regressão entre a produtividade da cana-de-açúcar e atributos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 15: Equações de regressão entre atributos físico-químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) sob cultivo de cana-de-açúcar com remoção da palhada



Fonte: Dados da pesquisa do autor

### 4.3.2 Regressão linear múltipla entre os atributos (*stepwise*)

#### 4.3.2.1 Manutenção da palhada

Na Tabela 12 está contida a análise de variância da regressão linear múltipla ajustada (Eq. 7) para estimar a produtividade de colmos de cana-de-açúcar (variável dependente) em função dos demais atributos da cana-de-açúcar bem como dos atributos físico-químicos do solo (variáveis independentes). Assim, nota-se que 46,8% da variação da PRO pôde ser explicada pelos atributos PPM, UG1, DS1, UG2 e DS2, cujo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,468.

Em relação às variáveis independentes UG1 e a DS1, seus efeitos sobre a PRO foram diretos (não limitante), ao passo que para a UG2 e a DS2 foram inversos (Eq. 7), indicando que na subsuperfície do solo, seus efeitos foram limitantes à referida PRO, refletindo o efeito do manejo do solo, revelando a existência de “pé-de-grade”.

$$\text{PRO} = 39,940 + 3,806^{***} \cdot \text{PPM} + 185,750^{***} \cdot \text{UG1} + 27,469^{***} \cdot \text{DS1} - 180,899^{**} \cdot \text{UG2} - 20,056^* \cdot \text{DS2} \dots \dots \dots (7)$$

onde: **PRO** = produtividade de colmos de cana-de-açúcar ( $\text{t ha}^{-1}$ ); **PPM** = plantas por metro ( $\text{pl. m}^{-1}$ ); **UG1** = umidade gravimétrica ( $\text{kg kg}^{-1}$ ) na profundidade de 0-0,20 m; **DS1** = densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ) na profundidade de 0-0,20 m; **UG2** = umidade gravimétrica ( $\text{kg kg}^{-1}$ ) na profundidade de 0,20-0,40 m e **DS2** = densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ) na profundidade de 0,20-0,40 m; \*\*\* = significativo a 1%, \*\* = significativo a 5% e \* = significativo a 10 %.

A explicação proposta com base na regressão linear múltipla demonstrou a implicação de cada atributo pesquisado na produtividade de colmos de cana-de-açúcar, levando em consideração os valores destes atributos obtidos em campo, o que permitiu qualificar a contribuição de cada um deles no modelo ajustado (Eq. 7).

#### 4.3.2.2 Remoção da palhada

A análise de variância da regressão linear múltipla ajustada (Eq. 8) para estimar a produtividade de colmos de cana-de-açúcar em função dos demais atributos da cana-de-açúcar bem como dos atributos físico-químicos do solo está exposta na Tabela 13. O  $R^2$  (0,631)

evidenciou que 63,1% da variação da Pro foi explicada pelos atributos selecionados pelo modelo (Ppm, Qps, Ds1 e Ec1). Com exceção do Ec1, os atributos selecionados contribuíram positivamente com a Pro.

$$\text{Pro} = 21,672 + 4,450^{***} \cdot \text{Ppm} + 0,264^{**} \cdot \text{Qps} + 13,897^* \cdot \text{Ds1} - 0,501^* \cdot \text{Ec1} \dots \dots \dots (8)$$

onde: **Pro** = produtividade de colmos de cana-de-açúcar (t ha<sup>-1</sup>); **Ppm** = plantas por metro (pl. m<sup>-1</sup>); **Qps** = quantidade de palhada sobre o solo (t ha<sup>-1</sup>); **Ds1** = densidade do solo (kg dm<sup>-3</sup>) na profundidade de 0-0,20 m e **Ec1** = estoque de carbono do solo (t ha<sup>-1</sup>) na profundidade de 0-0,20 m; \*\*\* = significativo a 1%, \*\* = significativo a 5% e \* = significativo a 10 %.

Tabela 12: Análise da variância dos resíduos da regressão linear múltipla da PRO em função dos atributos da cultura da cana-de-açúcar e físicos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada

Causa de variação	GL	SQ	QM	F <sub>calc</sub>	Pr>F
Regressão	5	7 245,88	1 449,18	20,20	< 0,0001
Resíduo	115	8 248,12	71,73	-	-
Total	120	15 494,00	-	-	-

Fonte: Dados da pesquisa do autor

Tabela 13: Análise da variância dos resíduos da regressão linear múltipla da Pro em função dos atributos da cultura da cana-de-açúcar e físico-químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada

Causa de variação	GL	SQ	QM	F <sub>calc</sub>	Pr>F
Regressão	4	8 573,76	2 143,44	49,68	< 0,0001
Resíduo	116	5 005,24	43,15	-	-
<b>Total</b>	120	13 579,00	-	-	-

Fonte: Dados da pesquisa do autor

#### 4.3.3 Comparação entre os tratamentos

Tanto para o tratamento sob MAP quanto para a REP foi possível modelar regressão da  $PRO=f(PPM)$ , cujos efeitos foram direto, ou seja, havendo aumento da PPM ocorrerá aumento também da PRO. Todavia, o tratamento sob REP, resultou ainda diversas outras equações de regressão entre atributos da planta, sendo elas: 1)  $Pro=f(Qps)$ , 2)  $Pro=f(Ecp)$ , 3)  $Qps=f(Ppm)$ , 4)  $Ecp=f(Ppm)$  e 5)  $Atr=f(Ecp)$ .

Por outro lado, para as equações de regressão entre atributos da planta  $x$  do solo, considerando a MAP, verificaram-se os modelos  $PRO=f(UG1)$  e  $PRO=f(DS1)$ . Já com relação a REP, ajustaram-se os modelos  $Pro=f(Alt)$  e  $Pro=f(Ds1)$ . E finalmente, para as regressões entre atributos do solo, constatou-se que ambos os tratamentos possibilitaram a modelagem  $EC1=f(ALT)$ , assim como  $EC2=f(ALT)$ . Adicionalmente, para a MAP foi modelada ainda a  $UG2=f(ALT)$ , ao passo que para a REP, foi modelada  $Ug1=f(Ec1)$ .

Em se tratando das regressões lineares múltiplas por intermédio do *stepwise*, foi verificado que tanto o tratamento sob MAP quanto a REP resultaram em modelos úteis para a estimativa da variável dependente (PRO) em função das variáveis independentes, nas quais foram selecionados os atributos PPM, UG1, DS1, UG2 e DS2 (MAP), ou ainda a Ppm, Qps, Ds1 e Ec1 (REP).

No geral, é possível deduzir que o tratamento sob REP foi o que apresentou melhor desempenho em relação às regressões, uma vez que possibilitou a modelagem de um maior número destas.

## 4.4 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS

### 4.4.1 Análise semivariográfica simples

#### 4.4.1.1 Ajuste dos semivariogramas simples dos atributos

##### 4.4.1.1.1 Manutenção da palhada

Apesar de a normalidade dos dados ser uma das pressuposições da estatística clássica, ela não chega a ser uma exigência da geoestatística. Nessa, mais importante que a normalidade dos dados é a ocorrência ou não do efeito proporcional em que a média e a variância dos dados não sejam constantes na área de estudo (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989). Assim, na Tabela 14 estão apresentados os parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para os atributos da cana-de-açúcar, bem como para os atributos físico-químicos do solo no qual o experimento foi instalado. Nas Figuras de 16 a 18, estão relacionados seus respectivos semivariogramas.

Desta maneira, pode-se constatar que, com exceção da QPS, ECP, ATR, #UG1, DS1, pH1, #UG2 e pH2, que apresentaram efeito pepita puro, todos os demais atributos apresentaram dependência espacial (Tabela 14). O efeito pepita puro denotou que o comportamento dessas variáveis regionalizadas foi totalmente aleatório, revelando a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores que as amostradas. Tal aleatoriedade pode ser decorrente da distribuição heterogênea da palhada pela colhedora, seja pela variação espacial da biomassa ou pela ação dinâmica do vento.

Em relação ao desempenho dos semivariogramas, analisado pelos respectivos coeficientes de determinação espacial ( $r^2$ ), a relação decrescente foi: 1) #ALT (0,986), 2) PPM (0,951), 3) RP2 (0,925), 4) PRO (0,875), 5) RP1 (0,728), 6) #EC1 (0,724), 7) DS2 (0,717) e 8) #EC2 (0,680), conforme a Tabela 14.

A #ALT foi o atributo de melhor ajuste semivariográfico (Tabela 14; Figura 16), com modelo gaussiano, alcance da dependência espacial de 77,2 m e avaliador da dependência espacial (ADE) classificado como alta dependência (67,0%), corroborando com Ceddia et al. (2009), que, avaliando a topografia e variabilidade espacial de propriedades físicas do solo, também ajustaram semivariograma gaussiano e alcance de 93,4 m, mas discordando de Miguel et al. (2009), que pesquisaram a relação espacial entre a produtividade da cana-de-açúcar e a topografia do solo e verificaram modelo esférico, com alcance de 110,0 m e ADE

muito alto. Na sequência, a PPM (modelo exponencial) apresentou alcance de 25,5 m e ADE (88,1%) muito alto, ficando de acordo com Braga (2011) que também obteve modelo exponencial para a população de plantas da cana-de-açúcar.

A RP2 apresentou ajuste de modelo gaussiano (Tabela 14; Figura 17), discordando do modelo esférico relatado por Souza et al. (2006) e por Fidalski et al. (2006). O alcance para a RP2 foi de 26,0 m e ADE baixo (36,4%). Em relação à PRO, foi obtido modelo exponencial (Tabela 14; Figura 16), concordando com Gioia (2011) e Lima (2012), que pesquisaram a produtividade da cana-de-açúcar em um Argissolo Vermelho em São Paulo, mas diferiu dos modelos esférico, apontado por Souza et al. (2010a), e gaussiano (BRAGA, 2011). O alcance foi de 30,9 m e o ADE muito alto (88,2%). Para a RP1, seu modelo gaussiano apresentou alcance de 22,0 m (Figura 17), assim como ADE médio (44,3%). Modelo esférico foi ajustado para o #EC1 (Figura 18), que apresentou alcance de 27,2 m e ADE muito alto (98,5%), ficando de acordo tanto com Chaves e Farias (2008) quanto com Gioia (2011).

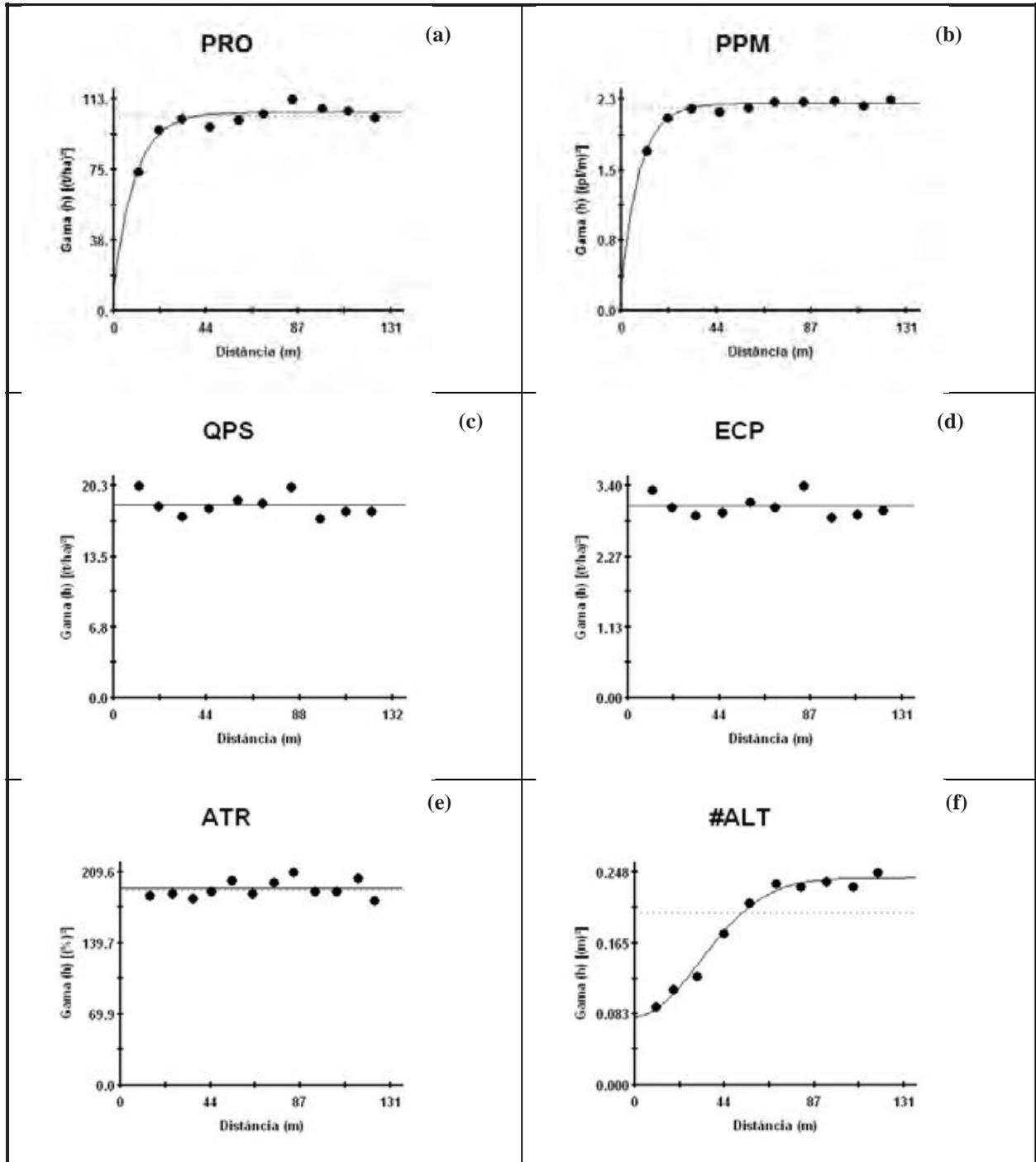
Tabela 14: Parâmetros dos semivariogramas simples e validações cruzadas para os atributos da cana-de-açúcar e físico-químicos, nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada

Atributo <sup>(a)</sup>	Parâmetros do ajuste										
	Modelo <sup>(b)</sup>	C <sub>o</sub>	C <sub>o</sub> +C	A <sub>o</sub> (m)	r <sup>2</sup>	SQR <sup>(c)</sup>	ADE <sup>(d)</sup>		Validação cruzada		
							%	Classe	a	b	r
<i>γ(h) simples dos atributos da planta e da altitude</i>											
<b>PRO</b>	exp (168)	1,25.10	1,06.10 <sup>2</sup>	30,9	<b>0,875</b>	1,26.10	88,2	MA	6,75	0,926	0,377
<b>PPM</b>	exp (179)	2,70.10 <sup>-1</sup>	2,27	25,5	<b>0,951</b>	1,23.10 <sup>-2</sup>	88,1	MA	7,40.10 <sup>-1</sup>	0,931	0,351
<b>QPS</b>	epp	1,85.10	1,85.10	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>ECP</b>	epp	3,08	3,08	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>ATR</b>	epp	1,94.10 <sup>2</sup>	1,94.10 <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>#ALT</b>	gau (100)	8,00.10 <sup>-2</sup>	2,41.10 <sup>-1</sup>	77,2	<b>0,986</b>	4,43.10 <sup>-4</sup>	67,0	AL	0	0,992	0,675
<i>γ(h) simples dos atributos do solo na profundidade de 0-0,20 m</i>											
<b>RP1</b>	gau (195)	5,00.10 <sup>-2</sup>	8,98.10 <sup>-2</sup>	22,0	<b>0,728</b>	8,83.10 <sup>-5</sup>	44,3	ME	2,10.10 <sup>-1</sup>	0,776	0,261
<b>#UG1</b>	epp	1,85.10 <sup>-4</sup>	1,85.10 <sup>-4</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>DS1</b>	epp	9,74.10 <sup>-3</sup>	9,74.10 <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>#EC1</b>	esf (99)	1,00.10 <sup>-1</sup>	6,66	27,2	<b>0,724</b>	3,42	98,5	MA	0	0,556	0,383
<b>pH1</b>	epp	5,54.10 <sup>-2</sup>	5,54.10 <sup>-2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>γ(h) simples dos atributos do solo na profundidade de 0,20-0,40 m</i>											
<b>RP2</b>	gau (101)	7,00.10 <sup>-2</sup>	1,10.10 <sup>-1</sup>	26,0	<b>0,925</b>	6,08.10 <sup>-5</sup>	36,4	BA	5,00.10 <sup>-2</sup>	0,966	0,363
<b>#UG2</b>	epp	1,14.10 <sup>-4</sup>	1,14.10 <sup>-4</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>DS2</b>	gau (93)	2,10.10 <sup>-3</sup>	3,50.10 <sup>-3</sup>	22,0	<b>0,717</b>	1,73.10 <sup>-7</sup>	40,3	ME	9,80.10 <sup>-1</sup>	0,384	0,122
<b>#EC2</b>	gau (97)	2,50	4,82	29,4	<b>0,680</b>	1,17	48,2	ME	-1,00.10 <sup>-1</sup>	0,665	0,288
<b>pH2</b>	epp	6,09.10 <sup>-2</sup>	6,09.10 <sup>-2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-

<sup>(a)</sup> Vide Tabelas 3 e 4; # trabalhado com o resíduo do atributo; parênteses sucedendo o modelo significa o número de pares no primeiro lag; <sup>(b)</sup> exp = exponencial, epp = efeito pepita puro, gau = gaussiano, esf = esférico; <sup>(c)</sup> SQR = soma dos quadrados dos resíduos; <sup>(d)</sup> ADE = avaliador da dependência espacial, sendo MA = muito alta, AL = alta, ME = média e BA = baixa.

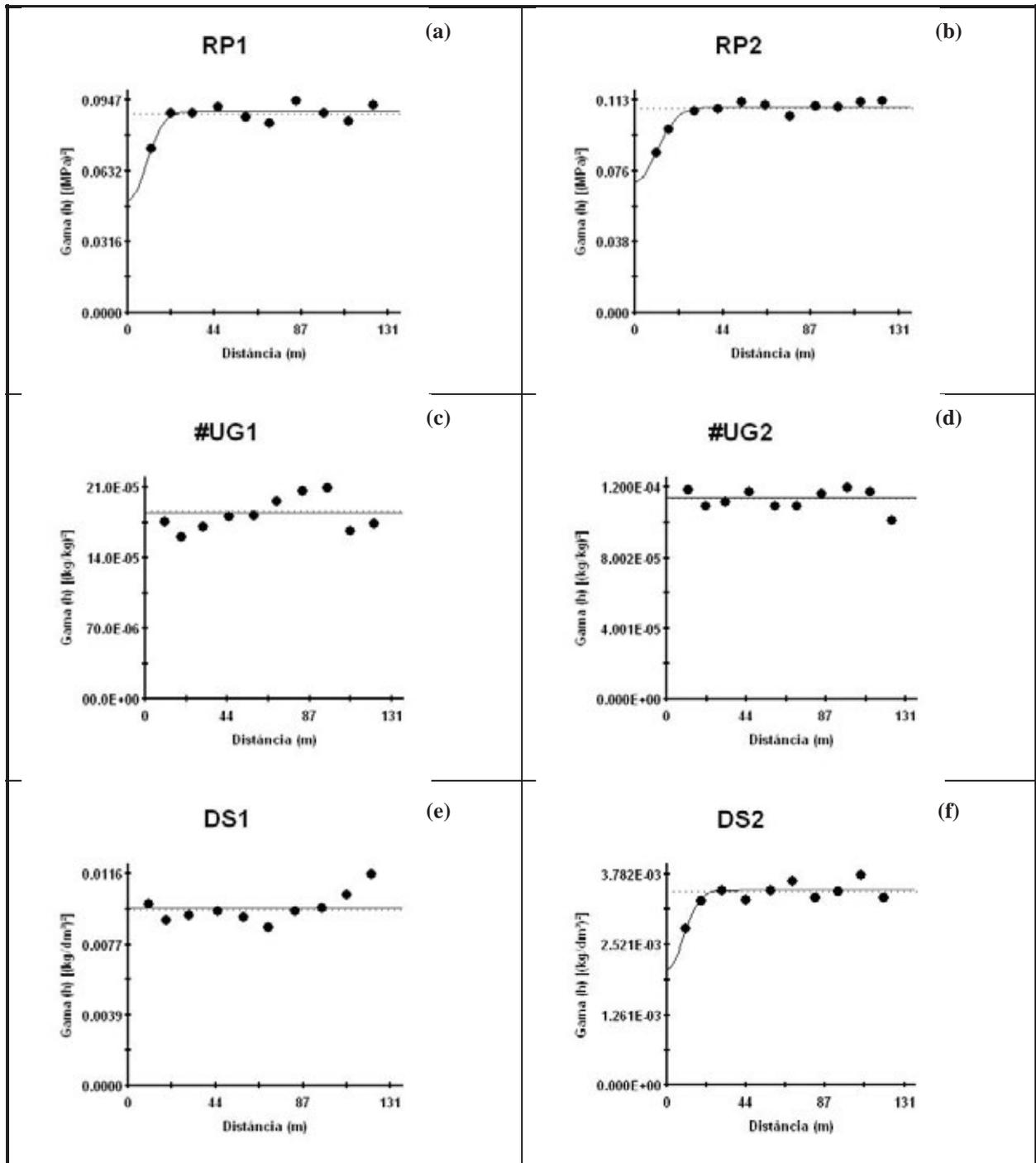
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 16: Semivariogramas simples de atributos da cana-de-açúcar e da altitude de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada



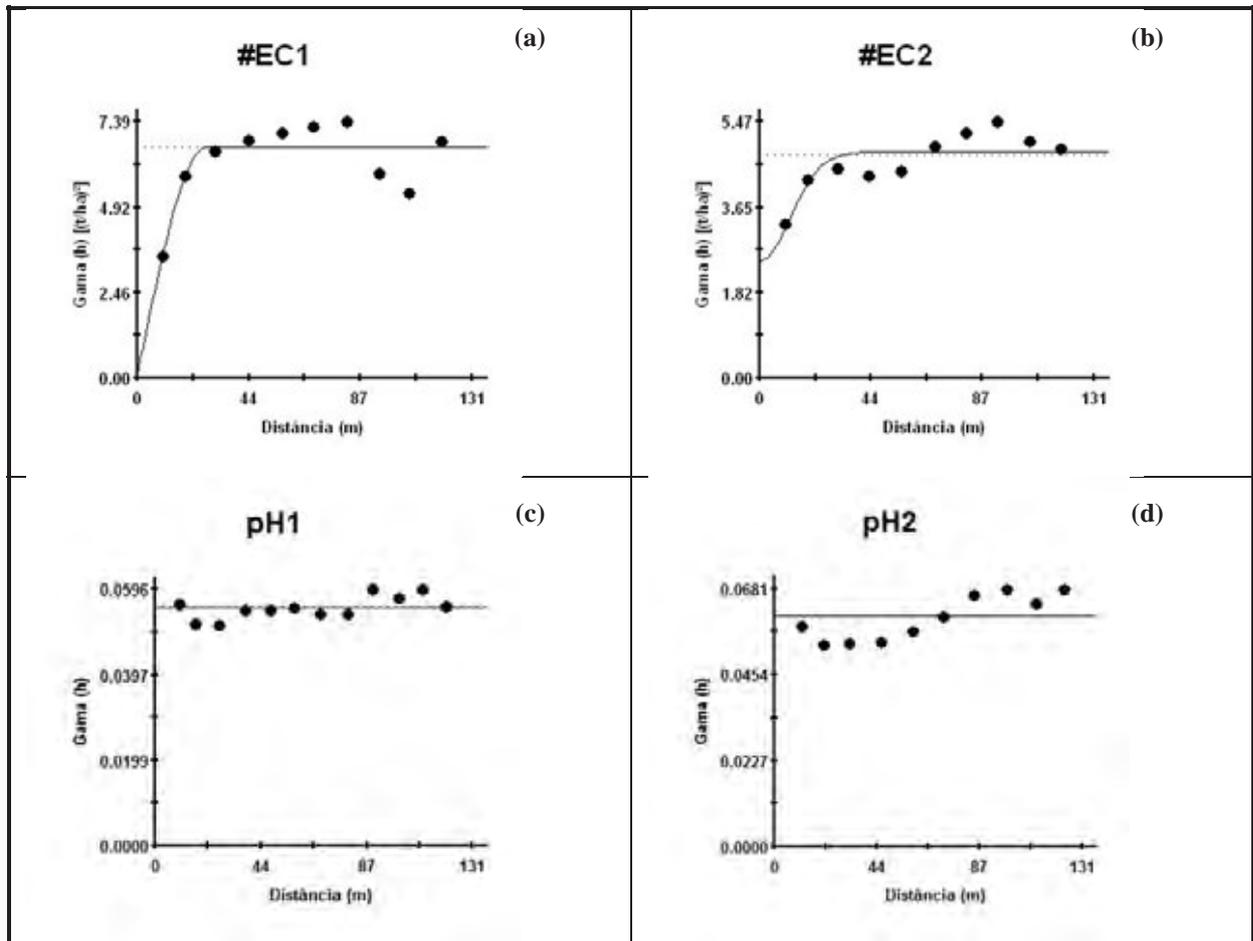
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 17: Semivariogramas simples de atributos físicos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 18: Semivariogramas simples de atributos químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Para a DS2 foi ajustado modelo gaussiano (Tabela 14; Figura 17), divergindo do modelo exponencial ajustado por Souza et al. (2010b) e por Vitória et al. (2011), tendo este avaliado a densidade de um Latossolo Amarelo eutrófico, na camada de 0,15-0,30 m, cultivado por capim-mombaça. Foi de 22,0 m o alcance e ADE médio (40,3%). Por fim, constatou-se que o #EC2, muito dependente da lixiviação desuniforme da matéria orgânica no solo, com semivariograma de menor desempenho (Figura 18), foi representado por modelo gaussiano, alcance de 29,4 m e ADE médio (48,2%). Gioia (2011) destacou em seu estudo modelo exponencial para o referido atributo.

Os valores dos alcances dos atributos pesquisados, se ordenados decrescentemente, obedeceram à seguinte ordem: 1) #ALT (77,2 m), 2) PRO (30,9 m), 3) #EC2 (29,4 m), 4) #EC1 (27,2 m), 5) RP2 (26,0 m), 6) PPM (25,5 m) e 7) RP1 e DS2, ambos com 22,0 m, conforme a Tabela 14. O valor do alcance pode influenciar a qualidade da estimativa, uma vez

que ele determina o número de valores usados na interpolação. Assim, estimativas feitas com interpolação por krigagem utilizando valores de alcances maiores tendem a ser mais confiáveis, apresentando mapas que representam melhor a realidade (CORÁ et al., 2004).

#### *4.4.1.1.2 Remoção da palhada*

Na Tabela 15 estão apresentados os parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para os atributos da cana-de-açúcar e para os físico-químicos do solo, bem como seus respectivos semivariogramas nas Figuras de 16 a 18.

Em relação aos ajustes semivariográficos, obtiveram-se modelos esférico (#Pro, #Alt e Ec1) e exponencial (#Ppm). Ajuste semivariográfico semelhante para a Pro, mas com alcance de 150 m e ADE médio, foi destacado por Miguel et al. (2009), que estudaram a produtividade da cana-de-açúcar em um Nitossolo Vermelho Eutrófico. Por outro lado, Miguel et al. (2010), trabalhando em um Nitossolo Vermelho Eutroférico, verificaram para a produtividade da cana-de-açúcar ajuste do tipo exponencial, com alcance de 79 m e ADE muito alto.

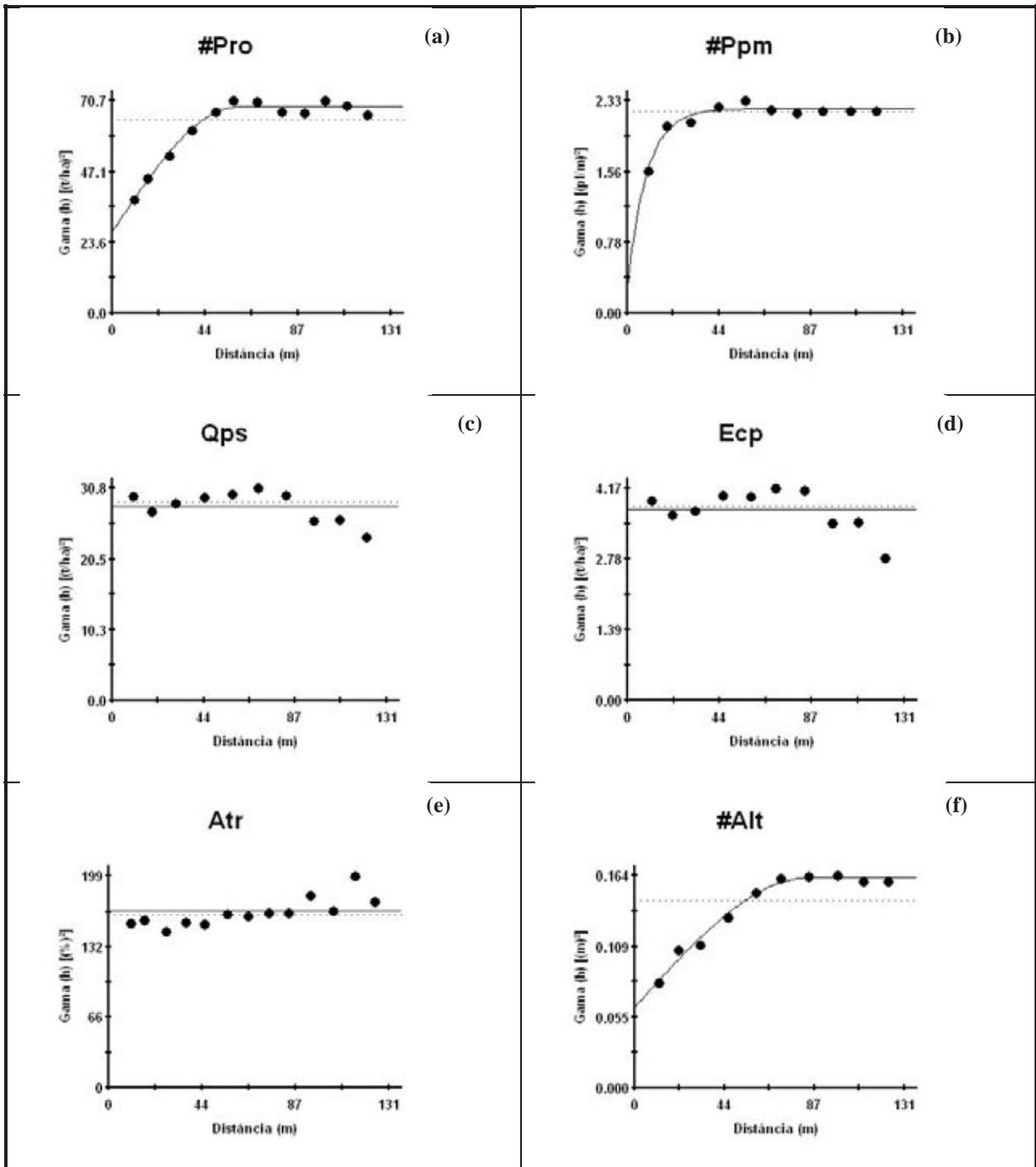
Tabela 15: Parâmetros dos semivariogramas simples e validações cruzadas para os atributos da cana-de-açúcar e físico-químicos, nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada

Atributo <sup>(a)</sup>	Parâmetros do ajuste										
	Modelo <sup>(b)</sup>	C <sub>o</sub>	C <sub>o</sub> +C	A <sub>o</sub> (m)	r <sup>2</sup>	SQR <sup>(c)</sup>	ADE <sup>(d)</sup>		Validação cruzada		
							%	Classe	a	b	r
<i>γ(h) simples dos atributos da planta e da altitude</i>											
#Pro	esf (97)	2,71.10	6,87.10	59,0	<b>0,979</b>	2,76.10	60,5	AL	1,10.10 <sup>-1</sup>	1,00	0,530
#Ppm	exp (98)	2,70.10 <sup>-1</sup>	2,25	27,3	<b>0,947</b>	2,28.10 <sup>-2</sup>	88,0	MA	-1,06.10 <sup>-2</sup>	0,536	0,190
Qps	epp	2,82.10	2,82.10	-	-	-	-	-	-	-	-
Ecp	epp	3,75	3,75	-	-	-	-	-	-	-	-
Atr	epp	1,66.10 <sup>2</sup>	1,66.10 <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
#Alt	esf (198)	6,23.10 <sup>-2</sup>	1,63.10 <sup>-1</sup>	84,7	<b>0,983</b>	1,34.10 <sup>-4</sup>	61,7	AL	0	0,940	0,527
<i>γ(h) simples dos atributos na profundidade de 0-0,20 m</i>											
Rp1	epp	1,34.10 <sup>-1</sup>	1,34.10 <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
#Ug1	epp	1,02.10 <sup>-4</sup>	1,02.10 <sup>-4</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
#Ds1	epp	6,13.10 <sup>-3</sup>	6,13.10 <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
Ec1	esf (91)	1,37	3,52	52,7	<b>0,881</b>	3,63.10 <sup>-1</sup>	61,2	AL	2,06	0,884	0,506
#pH1	epp	4,78.10 <sup>-2</sup>	4,78.10 <sup>-2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>γ(h) simples dos atributos na profundidade de 0,20-0,40 m</i>											
Rp2	exp	3,65.10 <sup>-1</sup>	3,65.10 <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
#Ug2	epp	1,23.10 <sup>-4</sup>	1,23.10 <sup>-4</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
Ds2	epp	6,24.10 <sup>-3</sup>	6,24.10 <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
#Ec2	epp	3,80	3,80	-	-	-	-	-	-	-	-
pH2	epp	3,27.10 <sup>-2</sup>	3,27.10 <sup>-2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-

<sup>(a)</sup> Vide Tabelas 5 e 6; # trabalhado com o resíduo do atributo; parênteses sucedendo o modelo significa o número de pares no primeiro lag; <sup>(b)</sup> esf = esférico, exp = exponencial, epp = efeito pepita puro; <sup>(c)</sup> SQR = soma dos quadrados dos resíduos; <sup>(d)</sup> ADE = avaliador da dependência espacial, sendo AL = alta e MA = muito alta.

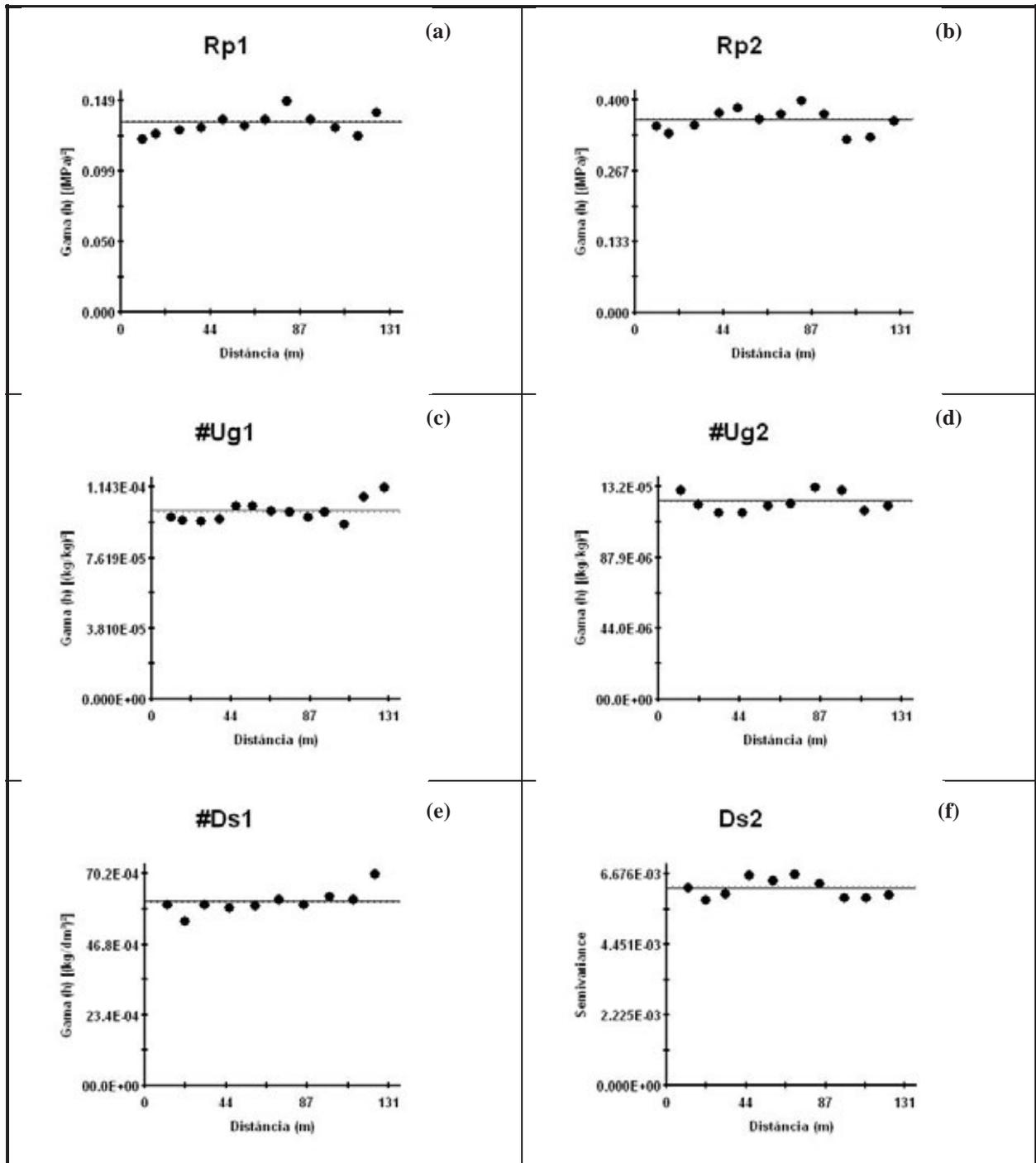
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 19: Semivariogramas simples de atributos da cana-de-açúcar e da altitude em um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada



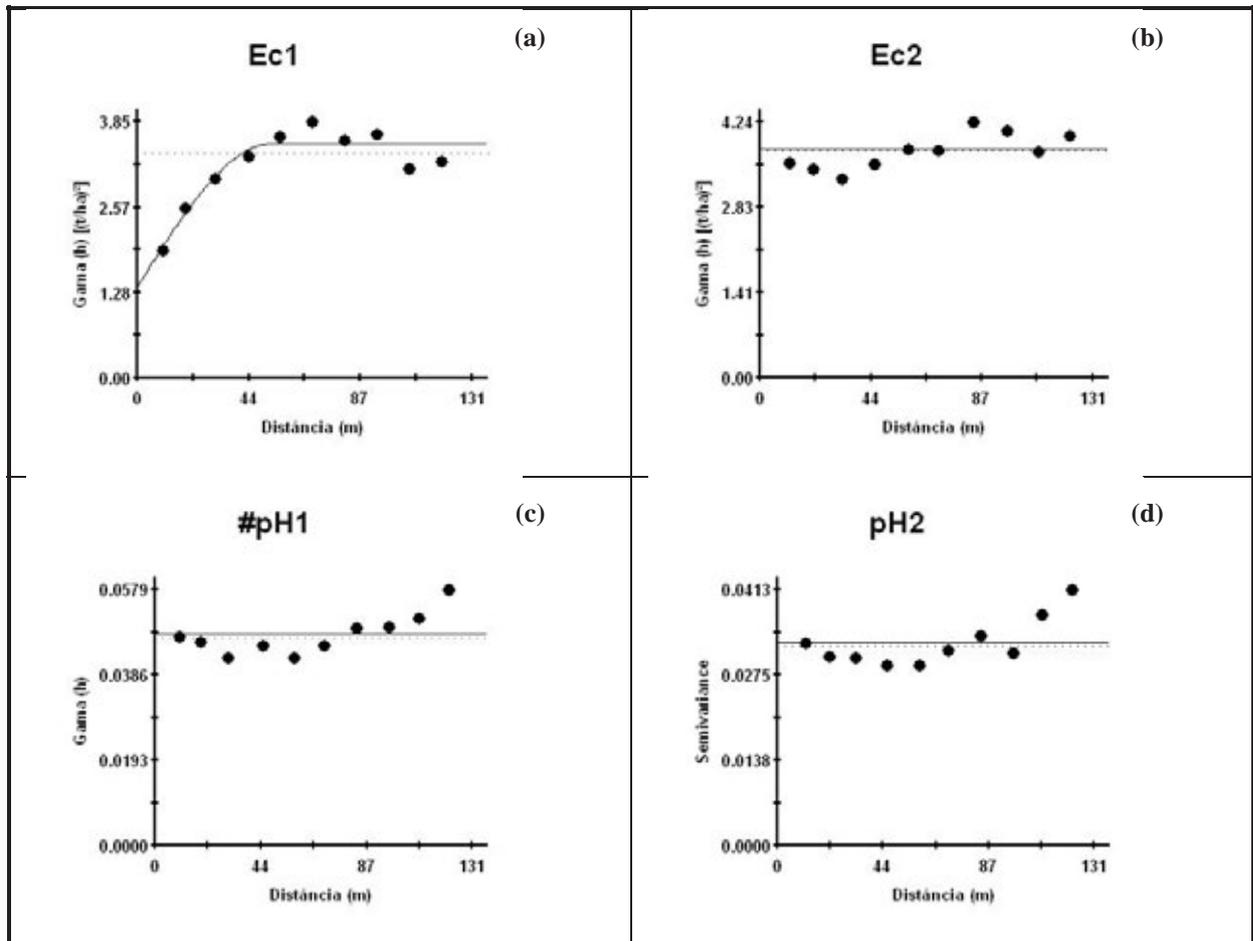
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 20: Semivariogramas simples de atributos físicos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 21: Semivariogramas simples de atributos químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Os demais atributos pesquisados apresentaram efeito pepita puro (Tabela 15). Em se tratando do desempenho dos mencionados semivariogramas, analisado pelos respectivos  $r^2$ , a relação decrescente foi: 1) #Alt (0,983), 2) #Pro (0,979), 3) #Ppm (0,947) e Ec1 (0,881). Os alcances da dependência espacial para estes atributos ficaram entre 27,3 (#Ppm) e 84,7 m (#Alt), ao passo que o ADE ficou estabelecido entre alto (#Pro = 60,5%) e muito alto (#Ppm = 88,0%).

#### 4.4.1.1.3 Comparações entre os tratamentos

Em relação aos atributos da planta, ambos os tratamentos (MAP e REP) apresentaram dependência espacial somente para a PRO e PPM. Entretanto, a REP apresentou, ligeiramente, os maiores coeficientes de determinação espacial ( $r^2$ ). Por outro lado, no que se

refere aos atributos do solo, a MAP foi o tratamento que possibilitou a obtenção de maior quantidade de semivariogramas com dependência espacial (#ALT, RP1, #EC1, RP2, DS2 e #EC2), assim como os maiores valores de  $r^2$ , uma vez que para a REP somente a #Alt e o Ec1 denotaram dependência espacial. Portanto, o tratamento sob MAP foi o que apresentou melhor desempenho em relação aos ajustes semivariográficos.

#### ***4.4.1.2 Validação cruzada dos semivariogramas simples ajustados***

##### *4.4.1.2.1 Manutenção da palhada*

Na Tabela 14 estão apresentados os parâmetros das validações cruzadas referentes às krigagens para os atributos da cana-de-açúcar e para os físico-químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP). Assim, a ordem decrescente da grandeza do coeficiente de correlação ( $r$ ), foi a seguinte: 1) #ALT (0,675), 2) #EC1 (0,383), 3) PRO (0,377), 4) RP2 (0,363), 5) PPM (0,351), 6) #EC2 (0,288), 7) RP1 (0,261) E 8) DS2 (0,122). Os coeficientes angulares ( $b$ ) das retas das validações cruzadas ficaram entre 0,384 (DS2) e 0,992 (#ALT). Nota-se que a #ALT resultou tanto em maior  $r^2$  semivariográfico, quanto em maior  $r$  para a validação cruzada.

##### *4.4.1.2.2 Remoção da palhada*

Analisando a Tabela 15 é possível verificar que a grandeza do  $r$  para as validações cruzadas ficou entre 0,190 (#Ppm) e 0,530 (#Pro), ao passo que os seus  $b$  das retas ficaram entre 0,536 (#Ppm) e 1,000 (#Pro).

##### *4.4.1.2.3 Comparações entre os tratamentos*

No geral, tanto em relação ao  $r$  quanto ao  $b$  das validações cruzadas, os tratamentos MAP e REP evidenciaram desempenho semelhante, com valores dos referidos parâmetros próximos entre si.

### 4.4.1.3 Mapas de krigagem dos atributos

#### 4.4.1.3.1 Manutenção da palhada

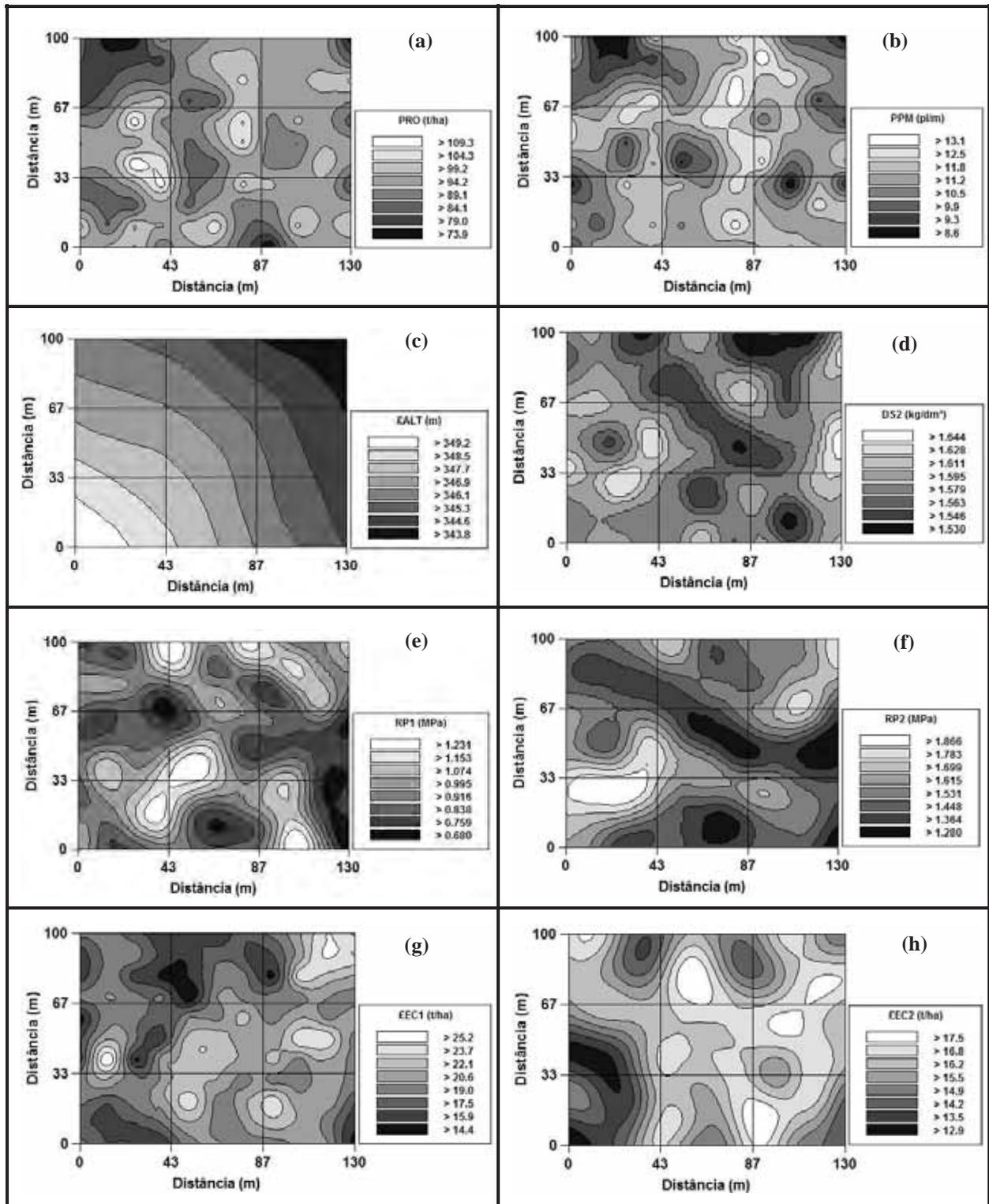
Na Figura 22 estão evidenciados os mapas de krigagem simples para os atributos da cana-de-açúcar e para os físico-químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP). Na Figura 22a, que apresenta o mapa de krigagem da PRO, observa-se que tanto no sentido norte-sul quanto no leste-oeste (travessões centrais), assim como nas regiões sudeste e nordeste, ocorreram os mais elevados valores (94,2-109,3 t ha<sup>-1</sup>). Em contrapartida, nas demais regiões ocorreram os mais baixos valores da PRO (73,9-89,1 t ha<sup>-1</sup>), indicando manchas de produtividades extremamente variadas, fato também evidenciado por Molin e Mascarin (2007), Molin et al. (2007), Oliveira et al. (2009) e Dalchiavon et al. (2011a), os quais trabalharam com o mapeamento da produtividade vegetal e concluíram que os mapas apresentaram alta variabilidade espacial.

Para as regiões de maiores valores da PRO, foram observadas semelhanças diretas com o mapa da PPM (Figura 22a,b), concordando com Braga (2011). Assim, para as regiões já mencionadas, onde os valores mais elevados da PPM variaram entre 11,2 e 13,1 pl. m<sup>-1</sup>, ocorreram os mais elevados valores de PRO (94,2-109,3 t ha<sup>-1</sup>), ao passo que na região noroeste, bem como em pontos isolados e mais escurecidos do mapa, onde ocorreram os menores valores da PPM (8,6-10,5 pl. m<sup>-1</sup>), foram mapeadas as menores PRO (73,9-89,1 t ha<sup>-1</sup>), mesmo comportamento linear (Pearson).

No que tange a  $\Delta$ ALT, nota-se claramente que a área pesquisada apresenta declive nos sentidos sul-norte/oeste-leste (Figura 22c). Em relação ao mapa da DS2, semelhanças inversas foram constatadas com o mapa da PRO (Figura 22a,d), cujas regiões com os menores valores para DS2 (1,530-1,579 kg dm<sup>-3</sup>) propiciaram as maiores PRO. Em contrapartida, regiões com DS2 elevadas (1,595-1,644 kg dm<sup>-3</sup>) refletiram em menores PRO.

Em se tratando dos mapas de krigagem para os atributos RP1 e RP2 (Figura 22e,f), constatou-se que a subsuperfície do solo estava bem mais compactada quando comparada com a sua superfície, ainda que ambas as camadas apresentavam valores na faixa tida como moderada (ARSHAD et al., 1996), evidenciando os efeitos negativos de um eventual manejo inadequado do solo, como as práticas utilizadas para o seu preparo inicial, assim como para as colheitas, adubações de produção das sucessivas socas e demais tratamentos culturais.

Figura 22: Mapas de krigagem de atributos da cana-de-açúcar e de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada



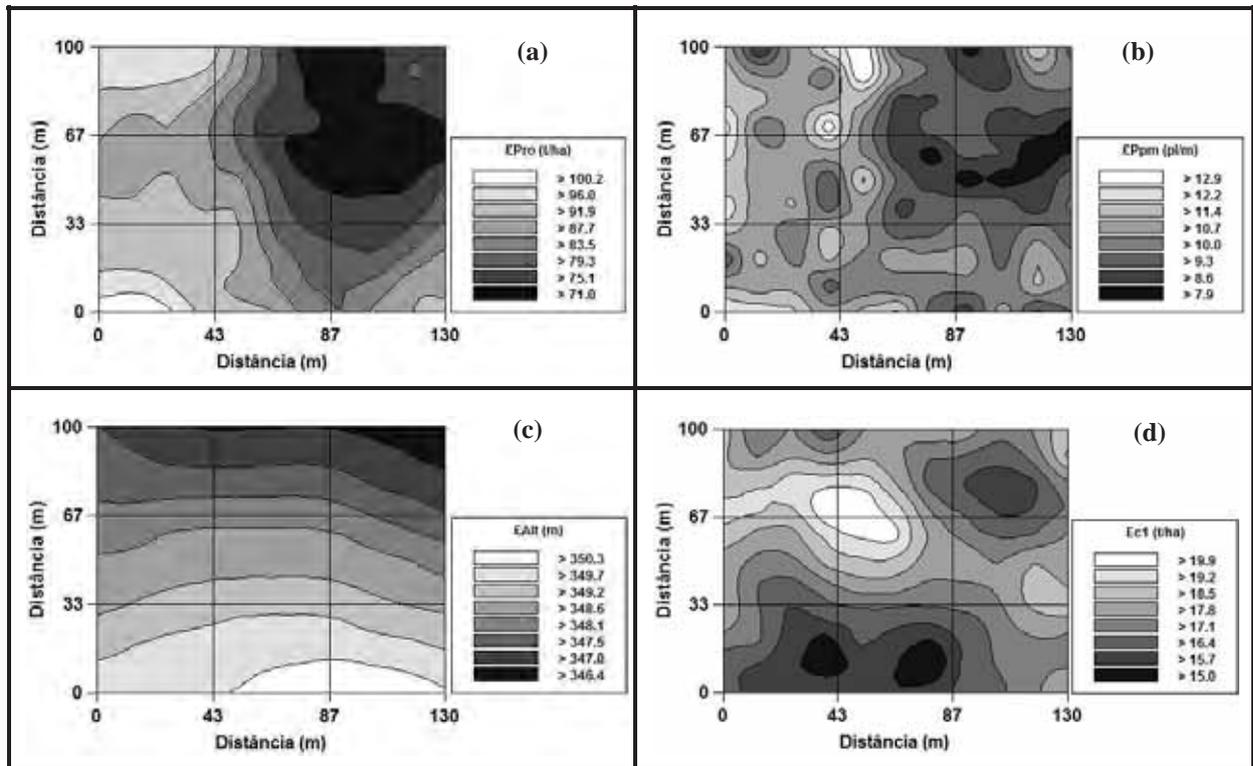
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Para os atributos  $\text{£EC1}$  e  $\text{£EC2}$ , foi verificado heterogeneidade entre as camadas do solo estudadas (Figura 22g,h), concordando com Chaves e Farias (2008) e Gioia (2011). Assim, o  $\text{£EC1}$  variou entre 14,4 e 25,2 t ha<sup>-1</sup>, enquanto que o  $\text{£EC2}$  ficou entre 12,9 e 17,5 t ha<sup>-1</sup>. Tal fato, maior quantidade de Carbono estocado na superfície do solo, decorre em razão de que todo o Carbono sequestrado da atmosfera e incorporado na palhada do canavial, com posterior deposição desse material em superfície (com lenta decomposição pela alta relação C/N), não sofre incorporação mecânica ao solo durante os diversos ciclos/cortes do canavial, o que poderia propiciar maiores estoques em subsuperfície. Desta forma, é natural, e esperado, que o  $\text{£EC1}$  supere o  $\text{£EC2}$ .

#### 4.4.1.3.2 Remoção da palhada

Na Figura 23 estão evidenciados os mapas de krigagem simples para os atributos da cana-de-açúcar e para os de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP). Na Figura 23a, que apresenta o mapa de krigagem da  $\text{£Pro}$ , observa-se que os maiores valores (87,5-100,2 t ha<sup>-1</sup>) ocorreram tanto no sentido noroeste-sudoeste quanto no sudoeste-sudeste. Nas demais regiões ocorreram os menores valores da  $\text{£Pro}$  (71,0-83,5 t ha<sup>-1</sup>). Para as regiões de maiores valores da  $\text{£Pro}$ , foram observadas apreciáveis semelhanças diretas com o mapa da  $\text{£Ppm}$  (Figura 23a,b). Assim, para essas regiões, onde os maiores valores da  $\text{£Ppm}$  variaram entre 10,7 e 12,9 pl. m<sup>-1</sup>, ocorreram as maiores  $\text{£Pro}$ , ao passo que nas demais regiões, ocorreram os menores valores da  $\text{£Ppm}$  (7,9-10,0 pl. m<sup>-1</sup>), bem como as menores  $\text{£Pro}$ . Em relação à  $\text{£Alt}$ , nota-se que a área pesquisada apresenta declividade nos sentidos sul-norte e oeste-leste (Figura 23c), mais acentuada naquele do que neste sentido. Para o  $\text{Ec1}$  (Figura 23d), foi constatado maiores valores (17,8-19,9 t ha<sup>-1</sup>) nos dois travessões superiores do mapa, enquanto que os menores (17,1 e 19,9 t ha<sup>-1</sup>) no travessão inferior e também no nordeste do mapa.

Figura 23: Mapas de krigagem de atributos da cana-de-açúcar e de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada



Fonte: Dados da pesquisa do autor

#### 4.4.2 Análise semivariográfica cruzada

##### 4.4.2.1 Ajuste dos semivariogramas cruzados e mapas de cokrigagens dos atributos

###### 4.4.2.1.1 Manutenção da palhada

Entre dois atributos quaisquer, se apresentarem elevado coeficiente de correlação de Pearson e significativo, e ambos derem semivariograma, a cokrigagem com certeza existirá. Entretanto, se apresentarem baixo coeficiente de correlação de Pearson e não significativo, mas ambos apresentarem semivariograma, a cokrigagem pode ou não existir. Neste sentido, estão relacionados na Tabela 16 os parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados entre atributos da cana-de-açúcar e de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP). Assim, ficou comprovado que as cokrigagens  $PRO=f(PPM)$  e  $PRO=f(DS2)$  apresentaram dependência espacial, cujos  $r^2$  dos semivariogramas cruzados foram de 0,845 e 0,327, assim como o  $r$  e o  $b$  das validações cruzadas foram de 0,381 e 0,355, e 0,581 e 0,571, respectivamente. Portanto, o melhor ajuste, atestado pelos coeficientes ora citados, foi a

cokrigagem  $PRO=f(PPM)$ . Braga (2011) também verificou que a cokrigagem  $PRO=f(PPM)$  apresentou dependência espacial, bem como o melhor ajuste dentre as cokrigagens obtidas.

Nas Figuras 24 e 25, estão contidos os semivariogramas cruzados, as validações cruzadas e os mapas de cokrigagens. Desta forma, a cokrigagem  $PRO=f(PPM)$  apresentou ajuste semivariográfico do tipo exponencial direto (Tabela 16; Figura 24), cujo alcance da dependência espacial foi de 56,4 m e ADE alto (67,0%). O mesmo modelo também foi ajustado por Braga (2011). Assim, foi constatado que 84,5% da variabilidade espacial da PRO foi explicada pela variabilidade espacial da PPM. Portanto, do ponto de vista espacial da área pesquisada, nos sítios em que a PPM estiver entre 11,2-13,1 pl.  $m^{-1}$ , a PRO esperada (variedade RB855035) estará compreendida entre 95,0-112,1 t  $ha^{-1}$ . Por outro lado, naqueles onde a PPM estiver entre 8,6-10,5 pl.  $m^{-1}$ , a PRO esperada estará compreendida entre 72,2-89,3 t  $ha^{-1}$ .

Para a cokrigagem  $PRO=f(DS2)$ , ajustou-se semivariograma de modelo gaussiano (Tabela 16; Figura 25), de comportamento inverso, indicando que nas regiões onde houver aumento da DS2, implicará em redução da PRO, sendo o inverso verdadeiro. O alcance da dependência espacial foi de 122,8 m, com ADE alto (76,7%). Assim, nas regiões em que a DS2 apresentar valores elevados (1,595-1,644  $kg\ dm^{-3}$ ), a PRO estará compreendida entre 70,2-88,1 t  $ha^{-1}$ . Entretanto, naquelas regiões onde a DS2 estiver entre 1,530-1,579  $kg\ dm^{-3}$ , a PRO estará incluída entre 94,0-111,9 t  $ha^{-1}$ .

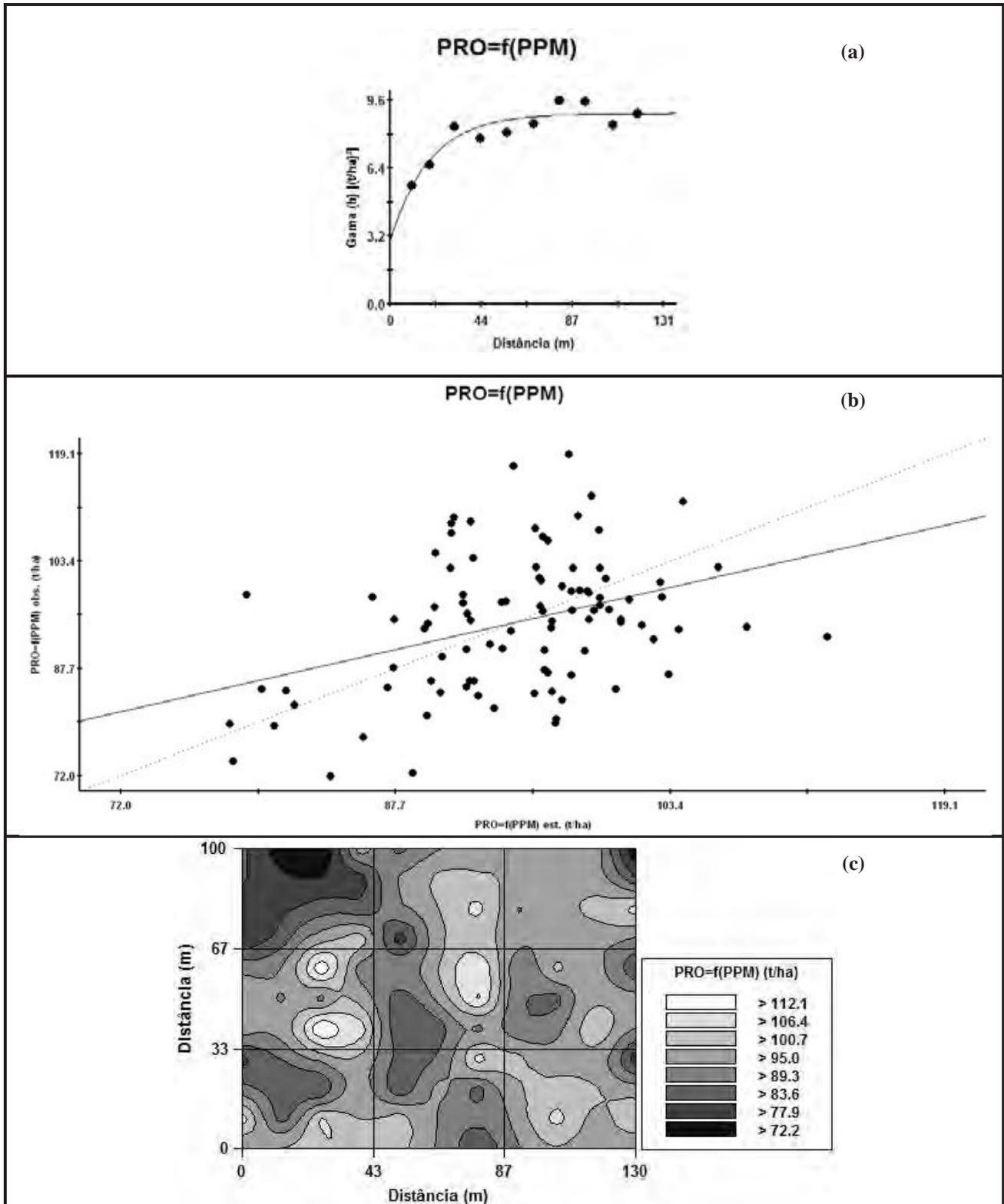
Tabela 16: Parâmetros dos semivariogramas cruzados e validações cruzadas para os atributos da cana-de-açúcar e de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada

Atributo <sup>(a)</sup>	Parâmetros do ajuste										
	Modelo <sup>(b)</sup>	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C	A <sub>0</sub> (m)	r <sup>2</sup>	SQR <sup>(c)</sup>	ADE <sup>(d)</sup>		Validação cruzada		
							%	Classe	a	b	r
<b>PRO=f(PPM)</b>	exp (73)	2,97	8,99	56,4	<b>0,845</b>	2,20	67,0	AL	3,95.10	0,581	0,381
<b>PRO=f(DS2)</b>	gau (73)	-2,13.10 <sup>-2</sup>	-9,16.10 <sup>-2</sup>	122,8	<b>0,327</b>	1,28.10 <sup>-2</sup>	76,7	AL	4,05.10	0,571	0,355

<sup>(a)</sup> Vide Tabelas 3 e 4; parênteses sucedendo o modelo significa o número de pares no primeiro lag; <sup>(b)</sup> exp = exponencial, gau = gaussiano; <sup>(c)</sup> SQR = soma dos quadrados dos resíduos; <sup>(d)</sup> ADE = avaliador da dependência espacial, sendo AL = alta.

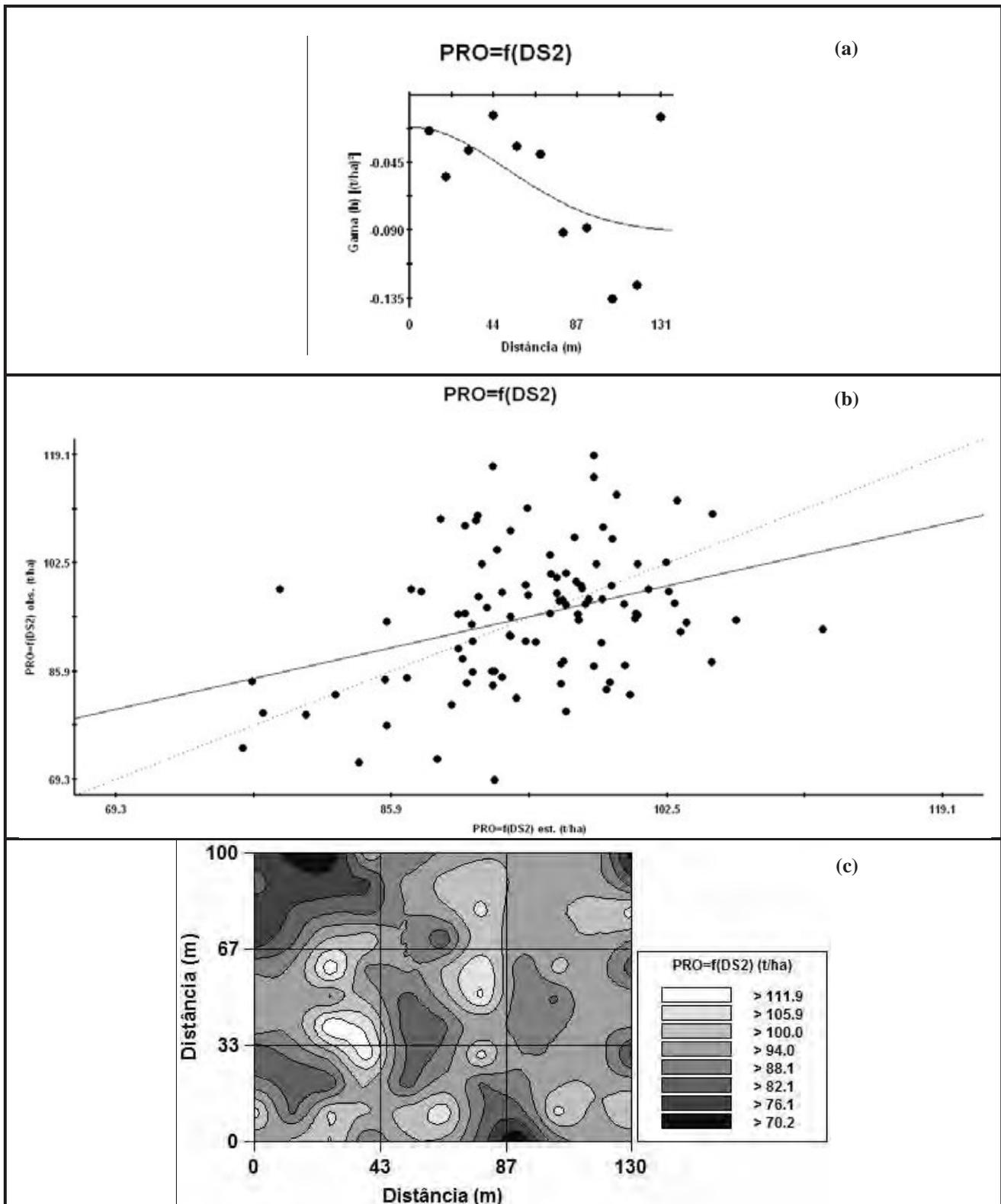
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 24: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da PRO em função de PPM em um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 25: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da PRO em função da DS2 de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com manutenção da palhada



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Lima et al. (2007), estudando a correlação espacial entre a produtividade de forragem e a densidade - na camada de 0-0,10 m - de um Latossolo Vermelho distrófico de Pereira Barreto (SP), também verificaram haver correlação espacial gaussiana inversa entre tais atributos, cujo alcance foi de 17,3 m e ADE muito alto. Da mesma forma, Vitória et al. (2011), analisando a correlação espacial entre produtividade de capim-mombaça e a densidade de um Latossolo Amarelo Eutrófico, na camada de 0-0,15 m e sob sistema plantio direto, constataram existir correlação espacial gaussiana inversa entre os atributos ora citados, na qual o alcance obtido foi de 19,9 m com ADE médio.

#### 4.4.2.1.2 Remoção da palhada

Na Tabela 17 estão listados os parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados entre atributos da cana-de-açúcar e de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP), onde é possível verificar que apresentaram dependência espacial as cokrigagens  $\#Pro=f(\#Ppm)$ ,  $\#Pro=f(\#Alt)$  e  $Ec1=f(\#Alt)$ . Os  $r^2$  dos semivariogramas cruzados ficaram entre 0,291 e 0,871. Por outro lado, no que se refere às validações cruzadas, o  $r$  esteve entre 0,443 e 0,495 e o  $b$  entre 0,665 e 0,717. Assim, constata-se que o melhor ajuste foi a cokrigagem da  $\#Pro=f(\#Ppm)$ .

A cokrigagem  $\#Pro=f(\#Ppm)$  proporcionou ajuste semivariográfico esférico direto (Tabela 17; Figura 26). O alcance da dependência espacial foi de 45,5 m e ADE médio (57,5%), onde 87,1% da variabilidade espacial da  $\#Pro$  foi explicada pela variabilidade espacial da  $\#Ppm$ . Assim, nos sítios em que a  $\#Ppm$  estiver entre 10,7-12,9 pl.  $m^{-1}$ , a PRO estará entre 87,9-103,6 t  $ha^{-1}$ , ao passo que naqueles onde a  $\#Ppm$  estiver entre 7,9-10,0 pl.  $m^{-1}$ , a PRO estará entre 67,0-82,7 t  $ha^{-1}$ .

Para a cokrigagem  $\#Pro=f(\#Alt)$ , de modelo gaussiano inverso (Tabela 17; Figura 27), o alcance da dependência espacial foi de 35,9 m e ADE muito alto (99,8%). Tal cokrigagem evidenciou que regiões mais baixas, com  $\#Alt$  entre 346,4-348,1 m, possibilitaram maiores  $\#Pro$  (88,6-104,9 t  $ha^{-1}$ ), sendo o inverso verdadeiro. Possivelmente, as maiores produtividades ocorreram em virtude do maior conteúdo de  $Ug1$  e  $Ug2$  nas regiões de menores altitudes, conforme pode ser aferido nas Tabelas 10 e 11. Este fato ficou em desacordo com o que Miguel et al. (2009) haviam destacado, uma vez que estes autores verificaram correlação espacial direta, e esférica, entre a produtividade da cana-de-açúcar e a altitude do terreno, de forma que as maiores produtividades foram obtidas em áreas com cotas mais elevadas. Contudo, os autores afirmaram ainda que as menores produtividades, atreladas

às posições mais baixas no relevo, ocorreram em decorrência da presença de erosões nessas regiões, o que diminuiu a fertilidade do solo em função da “lavagem” de nutrientes, fato (erosão) não visualizado no presente estudo.

Por outro lado, a relação espacial da #Alt com o Ec1, foi esfericamente direta (Tabela 17; Figura 28), isto é, regiões mais baixas em que a #Alt esteve compreendida entre 346,4-348,1 m, foram também os locais com menores valores de #Ec1 (12,9-16,3 t ha<sup>-1</sup>), que estiveram associados a maior decomposição da matéria orgânica do solo em função de elevadas temperaturas (Figura 2) bem como maior umidade do solo nesses locais. Em contrapartida, regiões mais elevadas (#Alt entre 348,6-350,3 m) possibilitaram maiores #Ec1 (17,4-20,8 t ha<sup>-1</sup>).

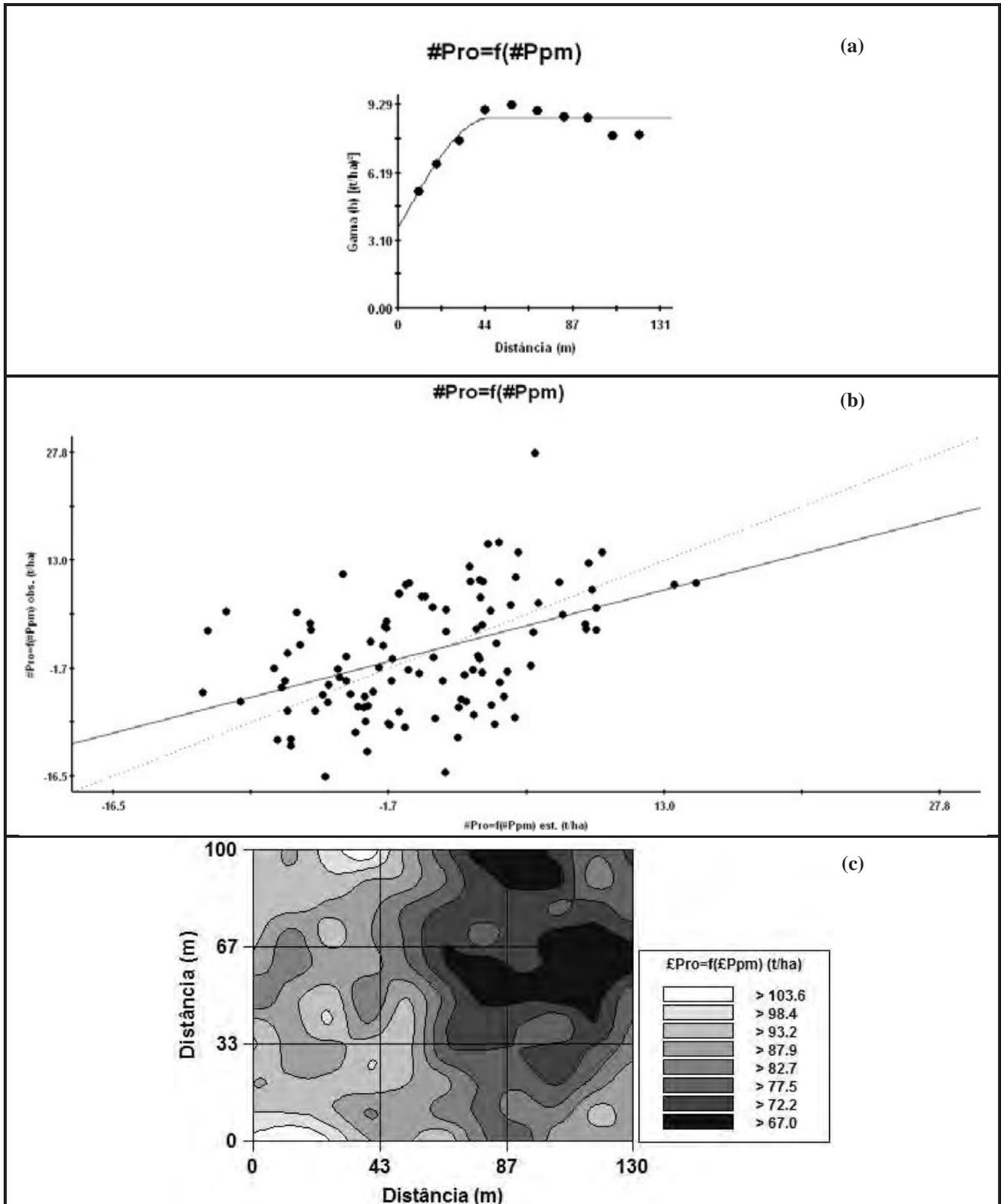
Tabela 17: Parâmetros dos semivariogramas cruzados e validações cruzadas para os atributos da cana-de-açúcar e de um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada

Atributo <sup>(a)</sup>	Parâmetros do ajuste										
	Modelo <sup>(b)</sup>	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C	A <sub>0</sub> (m)	r <sup>2</sup>	SQR <sup>(c)</sup>	ADE <sup>(d)</sup>		Validação cruzada		
							%	Classe	a	b	r
#Pro=f(#Ppm)	esf (90)	3,67	8,68	45,5	<b>0,871</b>	1,79	57,7	ME	3,50.10 <sup>-1</sup>	0,665	0,443
#Pro=f(#Alt)	gau (171)	-1,00.10 <sup>-3</sup>	-5,76.10 <sup>-1</sup>	35,9	<b>0,291</b>	4,39.10 <sup>-1</sup>	99,8	MA	9,00.10 <sup>-2</sup>	0,717	0,495
Ec1=f(#Alt)	esf (82)	1,00.10 <sup>-4</sup>	1,14.10 <sup>-1</sup>	63,9	<b>0,725</b>	3,92.10 <sup>-3</sup>	99,9	MA	5,74	0,677	0,495

<sup>(a)</sup> Vide Tabelas 5 e 6; # trabalhado com o resíduo do atributo; parênteses sucedendo o modelo significa o número de pares no primeiro lag; <sup>(b)</sup> esf = esférico, gau = gaussiano; <sup>(c)</sup> SQR = soma dos quadrados dos resíduos; <sup>(d)</sup> ADE = avaliador da dependência espacial, sendo ME = média e MA = muito alta.

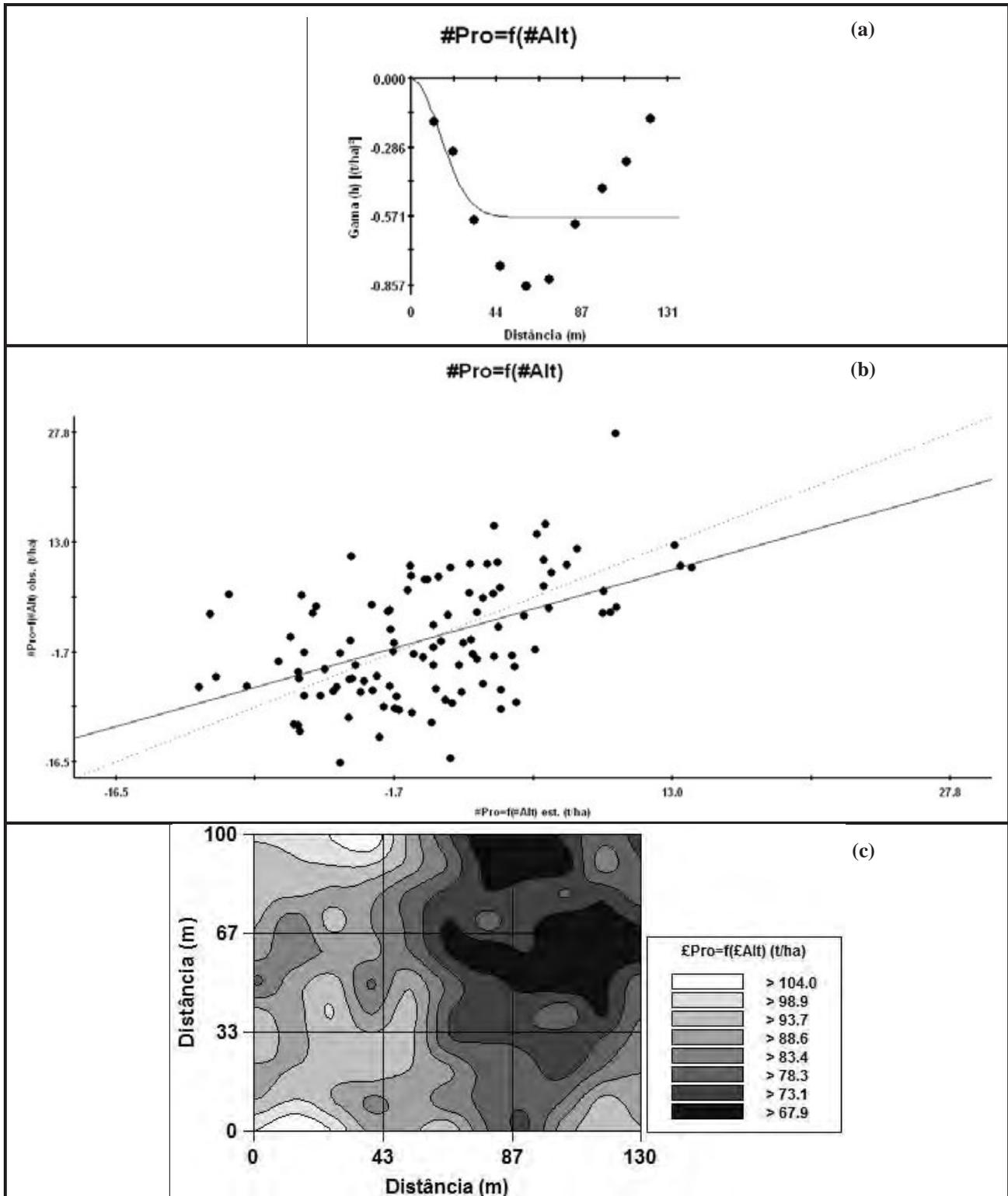
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 26: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da £Pro em função de £Ppm em um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada



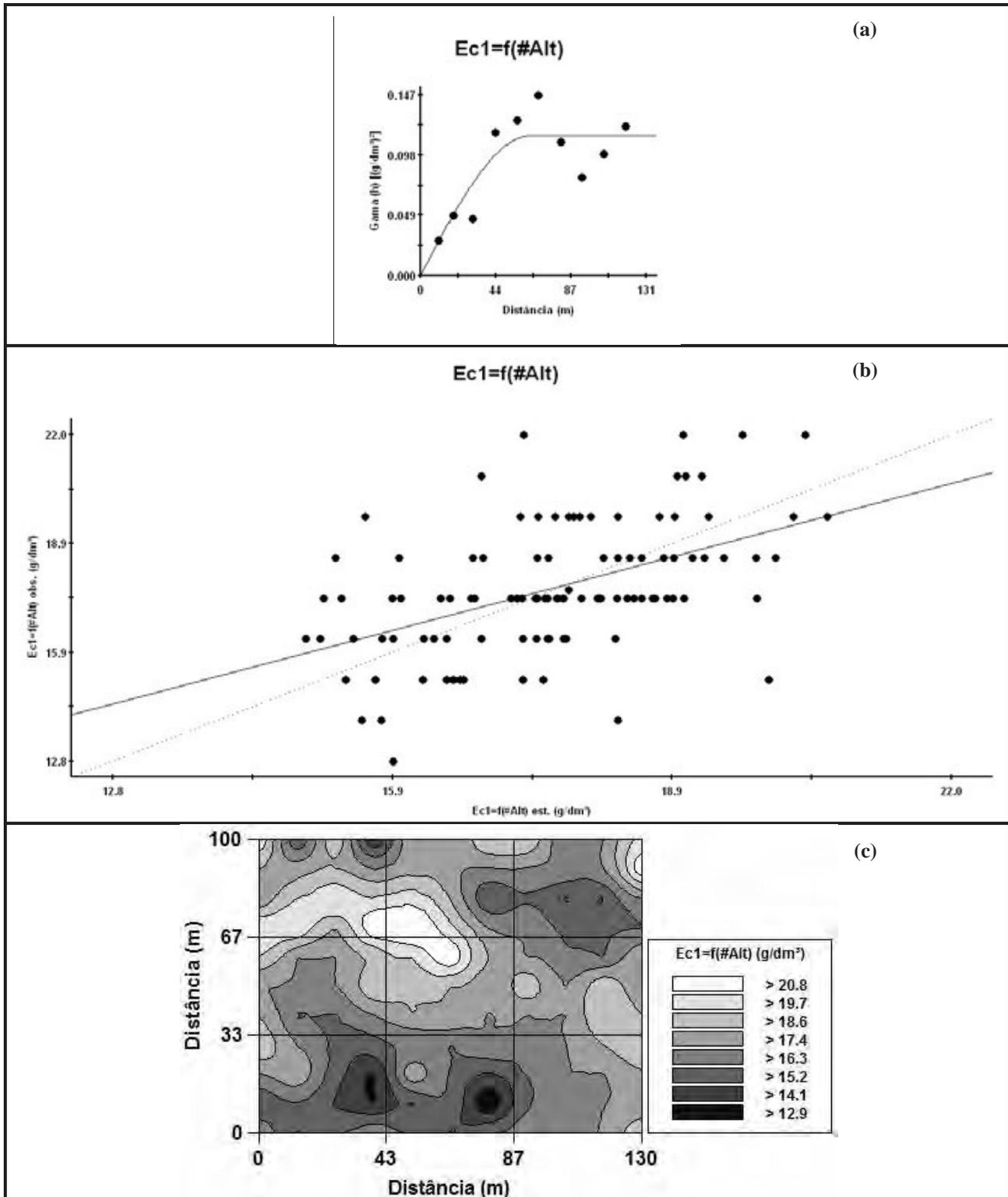
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 27: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem da  $\epsilon$ Pro em função da  $\epsilon$ Alt em um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 28: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de cokrigagem do Ec1 em função da #Alt em um Argissolo Vermelho eutrófico de Rubinéia (SP) com remoção da palhada



Fonte: Dados da pesquisa do autor

## 5 CONCLUSÕES

1. Para a colheita da cana-crua com **manutenção da palhada**, a densidade, na profundidade de 0-0,20 m, foi o atributo do solo que apresentou a melhor correlação de Pearson direta com a produtividade da cana-de-açúcar, assim como para a correlação geoestatística inversa na profundidade de 0,20-0,40 m;
2. Para a colheita da cana-crua com **remoção da palhada**, a altitude do terreno foi o atributo do solo que apresentou a melhor correlação, tanto de Pearson direta quanto geoestatística inversa, com a produtividade da cana-de-açúcar;
3. Em relação aos atributos da planta, em ambos os tratamentos a população foi o que apresentou a melhor correlação, tanto de Pearson quanto geoestatística, com a produtividade da cana-de-açúcar;
4. A colheita da cana-crua com **manutenção da palhada** foi o tratamento que possibilitou os melhores resultados, tanto com relação aos atributos da planta quanto àqueles relacionados ao solo.

## REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, I. A.; CASTRO, P. R. C.; NOGUEIRA, M. C. S. Crescimento de raízes de cana crua e queimada em dois ciclos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 653-659, 2000.
- ARMESTO, M. V. **Variabilidade espacial e temporal da erosión en solos de cultivo**. 1999. 118 f. Tese (Doutorado)– Faculdade de Ciências, Universidade de La Coruña, La Coruña, 1999.
- ARSHAD, M. A.; LOWER, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141. (Special Publication, 49).
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, n. 1, p. 237-245, 2006.
- BAYER, C.; MIELNICZUCK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. Cap. 2, p. 1-636.
- BENGOUGH, A. G. CAMPBELL, D. J.; O'SULLIVAN, M. F. Penetrometer techniques in relation to soil compaction and root growth. In: SMITH, K. A.; MULLINS, C. E. **Soil and environmental analysis: physical methods**. 2. ed. Edinburgh: Marcel Dekker, 2001. p. 377-403.
- BRAGA, J. A. **Inter-relações da produtividade de cana-de-açúcar com atributos físico-químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico do noroeste Paulista**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT. **Comunicação nacional inicial do Brasil à convenção-tabela das Nações Unidas sobre mudança do clima**. Brasília, DF: Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima, 2004. 74 p. Comunicação Nacional.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CAMPOS, D. C. **Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o sequestro do carbono**. 2003. 117 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- CANELLAS, L. P.; BUSATO, J. G.; DOBBSS, L. B.; BALDOTTO, A.; RUMJANEK, V. M.; OLIVARES, F. L. Soil organic matter and nutrient pools under long-term non-burning management of sugar cane. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 61, n. 3, p. 375-383, 2010.
- CARVALHO, G. D. Agricultura e aquecimento global: efeitos e mitigação. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 5, n. 8, p. 1-18, 2009. Suplemento Especial.

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

CASTRO, C. N. **Definição de unidades de gerenciamento do solo por meio da sua condutividade elétrica e variáveis físico-químicas**. 2004. 131 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CEDDIA, M. B.; VIEIRA, S. R.; VILLELA, A. L. O.; MOTA, L. S.; ANJOS, L. H. C.; CARVALHO, D. F. Topography and spatial variability of soil physical properties. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 3, p. 338-352, 2009.

CERRI, C. C.; MAIA, S. M. F.; GALDOS, M. V.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 6, p. 831-843, 2009.

CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial do estoque de carbono nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba: Solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 3, n. 1, p. 20-25, 2008.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e da cultura. In: CURI, N. et al. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 249-290.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar - terceiro levantamento, dezembro/2011**. Brasília, DF: CONAB, 2011. 20 p.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA DE AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CONSECAN. **Manual de instruções**. 5. ed. Piracicaba, 2006. 112 p.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.

CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 374-387, 2006.

CORÁ, J. E. **The potencial for site-specific management of soil and corn yield variability induced by tillage**. 1997. 104 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Agronomia, Michigan State University, East Lansing, 1997.

CORREIA, B. L.; ALLEONI, L. R. F. Conteúdo de carbono e atributos químicos de Latossolo sob cana-de-açúcar colhida com e sem queima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 8, p. 944-952, 2011.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 323-332. 2008.

COSTA, M. J.; ROSA JUNIOR, E. J.; ROSA, Y. B. C. J.; SOUZA, L. C. F.; ROSA, C. B. J. Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 29, supl., p. 701-708, 2007.

DALCHIAVON, F. C. **Aspectos da produtividade do arroz de terras altas irrigado com atributos químicos do solo sob plantio direto**. 2010. 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema de semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 908-916, 2011b.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; NOGUEIRA, D. C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F. L.; ASSIS, J. T.; OLIVEIRA, M. S. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 8-19, 2011a.

DAVIS, J. C. **Statistics and analysis in geology**. 2. ed. New York: John Wiley, 1986. 646 p.

DEMETRIO, P. A.; ZONETTI, P. C.; MUNHOZ, R. E. F. Avaliação de clones de cana-de-açúcar promissores RBs quanto à resistência à broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*) na região noroeste do Paraná. **Iniciação Científica Cesumar**, Maringá, v. 10, n. 1, p. 13-16, 2008.

DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS – DIEESE. Desempenho do setor sucroalcooleiro brasileiro e os trabalhadores. **Estudos e Pesquisas**, Rio de Janeiro, ano 3, n. 30, fev. 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. Numeração capitulada.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FALLOON, P.; JONES, C. D.; CERRI, C. E.; AL-ADAMAT, R.; KAMONI, P.; BHATTACHARYYA, T.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; COLEMAN, K.; MILNE, E. Climate change and its impact on soil and vegetation carbon storage in Kenya, Jordan, India and Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 122, n. 1, p. 114-124, 2007.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. Piracicaba: STAB, 2000. 193 p.

FERREIRA, D. F. **Sisvar**: sistema de análise de variância para dados balanceados, versão 5.1, Build 72. Lavras: DEX/UFLA, 2007.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; GONÇALVES, A. C. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e da taxa de estratificação de carbono orgânico do solo em um Latossolo Vermelho eutroférico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, 2006.

FRAZÃO, L. A.; SANTANA, I. K. S.; CAMPOS, D. V. B.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, n. 10, p. 1198-1204, 2010.

FREDDI, O. S.; CARVALHO, M. P.; CARVALHO, G. J. VERONESE JUNIOR, V. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 113-121, 2006.

GATTO A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA I. R.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; VILLANI, E. M. A. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 4, p. 1069-1079, 2010.

GIOIA, M. T. **Produtividade e qualidade da cana soca correlacionadas com atributos físico-químicos de um Argissolo Vermelho distrófico do noroeste Paulista**. 2011. 127 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate change 2001: the scientific basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 881 p.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

JOHANN, J. A. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno distrófico da região de Cascavel, PR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 212-219, 2004.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest ecology and management**, Amsterdam, v. 220, n. 1, p. 242-258, 2005.

LA SCALA JUNIOR, N.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, G. T. Short term soil CO<sub>2</sub> emission after conventional and reduced tillage of a no till sugar cane area in Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 9, n. 1, p. 244-248, 2006.

LAVANHOLI, M. G. D. P. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria prima para produção de açúcar e álcool. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 2008. Cap. 32, p. 697-722.

LIMA, C. G. R. **Análise linear e espacial entre alguns atributos produtivos e tecnológicos da cana-de-açúcar com o pH de um Argissolo Vermelho de Suzanópolis (SP)**. 2012. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012.

LIMA, C. G. R.; CARVALHO, M. P.; MELLO, L. M. M.; LIMA, R. C. Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1233-1244, 2007.

LIMA, M. A. Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: caracterização do problema, oportunidades e desafios. **Caderno de Ciência e Tecnologia**, Brasília, DF, v. 19, n. 3, p. 451-472. 2002.

LIMA, M. A.; LIGO, M. A.; CABRAL, M. R.; BOEIRA, R. C.; PESSOA, M. C. P. Y.; NEVES, M. C. **Emissão de gases do efeito estufa provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 60 p. (Documentos, 7).

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 canavial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 789-800, 2008.

MATHERON, G. **Traite de geostatistique appliquee**. Technip: Memories du Bureau de Recherches Geologiques et Minières, 1962. 2 v. 333 p.

MENDONZA, 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, MG, v. 24, n. 1, p. 201-207, 2000.

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; CHIBA, M. K.; GREGO, R.; SIQUEIRA, G. M. Correlação espacial entre a produtividade da cana-de-açúcar e atributos químicos do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO - ConBAP, 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2010.

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; CHIBA, M. K. Relacionamento espacial entre a produtividade da cana-de-açúcar e a topografia do solo. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2009, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 2009.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, v. 92, n. 1, p. 1-8, 2000. (Encarte Técnico).

MOLIN, J. P. MASCARIN, L. S. Colheita de citros e obtenção de dados para mapeamento da produtividade. **Engenharia agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 259-266, 2007.

MOLIN, J. P.; VIEIRA JUNIOR, P. A.; DOURADO NETO, D.; FAULIN, G. C.; MASCARIN, L. Variação espacial na produtividade de milho safrinha devido aos macronutrientes e à população de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 6, n. 3, p. 309-324, 2007.

MONTANARI, R. **Aspectos da produtividade do feijoeiro correlacionados com atributos do solo sob sistemas de manejo de elevado nível tecnológico**. 2009. 174 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

MONTANARI, R.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; DALCHIAVON, F. C.; LOVERA, L. H.; HONORATO, M. A. O. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 6, p. 1811-1822, 2010.

MONTANARI, R.; LIMA, R. C.; BONINI, A. S.; MARQUES, L. S.; MINGUINI, R.; CARVALHO, M. P.; FERREIRO, J.; COSTA, N. R. Variabilidade dos atributos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto no cerrado brasileiro e produtividade da soja. **Cadernos Laboratorio Xeolóxico de Laxe**, La Coruña, v. 36, n. 1, p. 61-78, 2011.

MONTANARI, R.; ZAMBIANCO, E. C.; CORRÊA, A. R.; PELLIN, D. M. P.; CARVALHO, M. P.; DALCHIAVON, F. C. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho correlacionados linear e espacialmente com a consorciação de guandu com milheto. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 59, n. 1, p. 407-410, 2012.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade de nutrientes em plantas de milho cultivado em talhão manejado homogeneamente. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 969-976, 2008.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 839-847, 2006.

MOREIRA, J. U. V. **Avaliação de genótipos de cana-de-açúcar em diferentes épocas de corte visando ao manejo varietal**. 2000. 64 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

MOZAMBANI, A. E.; PINTO, A. S.; SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ/USP. 2006. p. 11-18.

NISHI, M. H.; JACOVINE, L. A. G.; SILVA, M. L.; VALVERDE, S. R.; NOGUEIRA, H. P.; ALVARENGA, A. P. Influência dos créditos de carbono na viabilidade financeira de três projetos florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 2, p. 263-270, 2005.

OLIVEIRA, F. D. **Mapeamento dos teores de óleo e proteína de grãos de soja e análise de sua correlação com atributos do solo**. 2003. 115 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

OLIVEIRA, J. B.; MONIZ, A. C. Levantamento pedológico detalhado da estação experimental de Ribeirão Preto, SP. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 34, n. 2, p. 59-114, 1975.

OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; PENATTI, C. P.; PICCOLO, M. C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, p. 2359-2362, 1999.

OLIVEIRA, P. C. G.; FARIAS, P. R. S.; LIMA, H. V.; FERNANDES, A. R.; OLIVEIRA, F. A.; PITA, J. D. Variabilidade espacial de propriedades químicas do solo e da produtividade de citros na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 708-715, 2009.

PAIVA, A. O.; FARIA, G. E. Estoque de carbono do solo sob cerrado *sensu stricto* no Distrito Federal, Brasil. **Revista Tropica - Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 1, n. 1, p. 59-65, 2007.

PAULA, M.; PEREIRA, F. A. R.; ARIAS, E. R. A.; SCHEEREN, B. R.; SOUZA, C. C.; MATA, D. S. Fixação de carbono e a emissão dos gases de efeito estufa na exploração da cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 633-640, 2010.

PELLEGRINI, M. C. **Inserção de centrais cogeneradoras à bagaço de cana no parque energético do estado de São Paulo**: exemplo de aplicação de metodologia para análise dos aspectos locacionais de integração energética. 2002. 199 f. Dissertação (Mestrado em Energia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PINHEIRO, É. F. M.; LIMA, E.; CEDDIA, M. B.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. **Estoques de carbono e nitrogênio num Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar**: influência da queima ou manutenção da palhada. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 21 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 17).

PLAINWELL GAMMA DESING SOFTWARE. **GS<sup>+</sup>**: geostatistics for environmental sciences. 7. ed. Michigan, 2004. 159 p.

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

RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. 285 p.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, 2007.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G. Estoque e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1341-1353, 2007.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO - RIDESA. **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba, 2010. 136 p.

REICHERT, J. M.; DARIVA, T. A.; REINERT, D. J.; SILVA, V. R. Variabilidade espacial de Planossolo e produtividade de soja em várzea sistematizada: análise geoestatística e análise de regressão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 981-988, 2008.

ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R.; BINOTTI, F. F. S.; GIOIA, M. T. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 2, p.283-293, 2009.

ROSCOE, R. Rediscutindo o papel dos ecossistemas terrestres no sequestro de carbono. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, DF, v. 20, n. 2, p. 209-223, 2003.

SALVADOR, A. **Comparação de métodos de mapeamento da distribuição espacial da infestação de plantas daninhas**. 2002. 109 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

SAMANIEGO, M. R. P. **Uso de biocombustível da pirólise rápida da palha de cana em um motor de ciclo otto**. 2007. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

SCAPARI, M. S.; BEUCLAIR, E. G. F. Anatomia e botânica. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 2008. Cap. 2, p. 47-56.

SCHLOEDER, C. A.; ZIMMERMAN, N. E.; JACOBS, M. J. Comparison of methods for interpolating soil properties using limited data. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 65, n. 2, p. 470-479, 2001.

SCHLOTZHAVER, S. D.; LITTELL, R. C. **SAS system for elementary statistical analysis**. 2. ed. Cary: SAS, 1997. 441 p.

SEGATO, S. V., MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ/USP. 2006. p. 19-36.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, London, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

SILVA, P. C. M.; CHAVES, L. H. G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 431-436, 2001.

SMITH, P. Land use change and soil organic carbon dynamics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 81, p. 169-178, 2008.

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

SOUZA, Z. M.; 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, n. 4, p. 840-847, 2010a.

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

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 1, p. 48-56, 2010b.

SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; MAGALHÃES, P. G.; CAMPOS, M. C. C. Correlação dos atributos físicos e químicos do solo com a produtividade de cana-de-açúcar. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 8, n. 2, p. 183-190, 2008.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 15, n. 2, p. 229-235, 1991.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; WADE, M. K.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, New York, v. 38, n. 1, p. 45-94, 1985.

VALERIANO, M. M.; PRADO, H. Técnicas de geoprocessamento e de amostragem para o mapeamento de atributos anisotrópicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 997-1005, 2001.

VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A. Fisiologia do sistema radicular. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico e Fundação IAC. 2008. Cap. 4, p.79-98.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 449 p.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, 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.; XAVIER, M. A.; GREGO, C. R. Aplicações de geoestatística em pesquisas com cana-de-açúcar. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: FundAg, 2008. p. 839-852.

VITÓRIA, E. L.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M. Correlação linear e espacial entre produtividade de capim-mombaça e atributos físicos solo em função do sistema de manejo.

**Revista Agrotecnologia**, Anápolis, v. 2, n. 2, p. 30-43, 2011.

WATSON, R. T.; NOBLE, I. R.; BOLIN, B.; RAVINDRANATH, N. H.; VERARDO, D. J.; DOKKEN, D. J. **Land use, land-use change, and forestry**: a special report of the IPCC.

Cambridge: IPCC Cambridge University, 2000. 377 p.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 25-40, 2005.