



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ADRIANY RODRIGUES CORRÊA

**DENSIDADE DE AMOSTRAGEM DE DADOS PARA ANÁLISE DA CORRELAÇÃO
ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE DO EUCALIPTO EM FUNÇÃO DE ATRIBUTOS
DO SOLO**

Ilha Solteira

2018

**DENSIDADE DE AMOSTRAGEM DE DADOS PARA ANÁLISE DA CORRELAÇÃO
ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE DO EUCALIPTO EM FUNÇÃO DE ATRIBUTOS
DO SOLO**

ADRIANY RODRIGUES CORRÊA

Orientador: Prof. Dr. Rafael Montanari

Tese apresentada à Faculdade de
Engenharia - UNESP – Campus de Ilha
Solteira, para obtenção do título de
Doutora em Agronomia. Especialidade:
Sistemas de Produção

Ilha Solteira

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C824d Corrêa, Adriany Rodrigues.
Densidade de amostragem de dados para análise da correlação espacial da produtividade do eucalipto em função de atributos do solo / Adriany Rodrigues Corrêa. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2018
77 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2018

Orientador: Rafael Montanari
Inclui bibliografia

1. Silvicultura de precisão. 2. *Eucalyptus Camaldulensis*. 3. Geostatística.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: DENSIDADE DE AMOSTRAGEM DE DADOS PARA ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE DO EUCALIPTO EM FUNÇÃO DE ATRIBUTOS DO SOLO

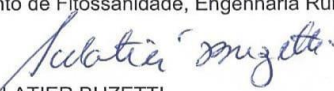
AUTORA: ADRIANY RODRIGUES CORRÊA

ORIENTADOR: RAFAEL MONTANARI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA, especialidade: SISTEMAS DE PRODUÇÃO pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. RAFAEL MONTANARI
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. MOREL DE PASSOS E CARVALHO
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / FEIS / UNESP - Ilha Solteira, SP


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


Prof. Dr. RONALDO CINTRA LIMA
Coordenação de Curso de Engenharia Agrônoma / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena


Prof. Dr. VITOR CORRÊA DE MATTOS BARRETTO
Departamento de Agronomia / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena

Ilha Solteira, 02 de março de 2018

Dedico...

Aos meus pais, Corcine Corrêa Ortiz e Silvia Maria Manoel Rodrigues, que são meus maiores exemplos e incentivadores.

Ao meu esposo Anderson Secco dos Santos, meu companheiro de vida.

Agradecimentos

A DEUS, que sempre me mostrou a luz nos momentos difíceis, guiando-me e iluminando meus passos;

Aos meus pais, Ortiz e Silvia, por terem me ensinado que a maior herança de uma pessoa é o conhecimento. Pela oportunidade, amor e compreensão e sempre estarem presente, me ajudando e apoiando em tudo;

Aos meus orientadores, Morel de Passos e Carvalho e Rafael Montanari, por todo aprendizado transmitido, pela amizade, atenção e paciência, sendo verdadeiros pais nesse período;

Ao meu esposo, Anderson Secco, por todo apoio e por compartilhar todos os momentos, com companheirismo e amor. Além da ajuda em todas as etapas da pesquisa;

À Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, por todas as oportunidades a mim concedidas;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de Doutorado;

À banca do exame geral de qualificação, professores Marcelo C. M. Teixeira Filho e Raíssa Pereira Dinalli Gazola, pela grande contribuição;

À banca da defesa, professores Morel de Passos e Carvalho, Salatiér Buzetti, Ronaldo Cintra Lima, Vitor Corrêa de Mattos Barretto, pelo engrandecimento que deram à pesquisa;

Aos professores do curso e funcionários da Pós-Graduação, que contribuíram para minha formação;

Aos queridos amigos que se tornaram família, Glauber, Epitácio, Mariele, Mariana, João Zanardi, Rodolfo, José Mateus, Roberto, Elizabeth;

Aos técnicos Carlos, João e Diego, dos laboratórios de Fertilidade do Solo e Física do Solo da Unesp-Ilha Solteira/SP, pelo auxílio nas análises;

Ao professor Mario Luiz Teixeira de Moraes pela concessão da área experimental; e

Aos funcionários da Fazenda de Ensino e Pesquisa e aos amigos, pela parceria, amizade e auxílio fundamental na coleta de solo do experimento, Valdivino, Júlio, Buchada, Alonso, Cesar, Juliano, Eduardo, Anderson (Secco), Glauber, Epitácio, Rodolfo, Paulo, Eduardo (Furadu), João Pedro (Fronha), Evelize e República Wiskynão.

“Se enxerguei mais longe, foi porque me apoiei sobre os ombros de gigantes”.

(Isaac Newton)

RESUMO

Um dos fatores limitantes para o uso da agricultura de precisão é o número de amostras necessárias para representar espacialmente a distribuição do nutriente ou insumo aplicado de forma variada. Portanto objetivou-se com a presente pesquisa avaliar com base na análise geoestatística o número ideal de subamostras para compor uma composta que melhor determine as zonas específicas de manejo e ratificar a existência de um atributo (solo e/ou planta) que possa, espacialmente, funcionar como indicador de qualidade, isto é, caracterizar as zonas específicas de manejo, com o intuito de aumentar a produtividade do *Eucalyptus camaldulensis* com sete anos de idade. O estudo foi desenvolvido em 2015, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, em Selvíria (MS, Brasil), latitude 20° 20' 31" S, longitude 51° 24' 12" W. Para tanto, foram analisadas as correlações lineares e espaciais entre atributos do eucalipto e de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, os quais foram: circunferência à altura do peito (CAP), altura da árvore (ALT), o volume médio anual de madeira com a casca (VOL), densidade do solo (DS), resistência do solo à penetração (RP), teor umidade gravimétrica (UG), porosidade total (PT), potencial hidrogeniônico (pH), matéria orgânica (MO) e estoque de carbono (EC). Foi instalada uma malha geoestatística com 120 pontos, sendo constituída de seis transeções paralelas (sentido N-S), espaçadas em 14 m, com 20 pontos amostrais cada, espaçados em 18 m, deixando uma bordadura de 10 m. Com três composições amostrais, sendo a composição amostral de um único dado (CA1), composição amostral com média de cinco dados (CA5) e composição amostral com média de dez dados (CA10). O volume da madeira pôde ser estimado por meio da cokrigagem com a resistência a penetração do solo, ratificando assim a RP como um atributo potencial para atuar como indicador de qualidade visando o aumento da produtividade da madeira. Do ponto de vista espacial a Composição Amostral com Média de Dez Dados (CA10): apresentou-se como a mais satisfatória, sendo a única capaz de caracterizar a variabilidade dos atributos do *Eucalyptus camaldulensis*, possibilitando criar mapas relacionando-se com o solo, podendo determinar as zonas específicas de manejo.

Palavras-chave: Silvicultura de precisão. *Eucalyptus camaldulensis*. Geoestatística.

DENSITY FOR ANALYSIS OF SPACE CORRELATION OF EUCALYPTUS PRODUCTIVITY IN THE FUNCTION OF SOIL ATTRIBUTES

ABSTRACT

One of the limiting factors for the use of precision agriculture is the number of samples needed to spatially represent the distribution of the nutrient or input applied in a varied way. Therefore, the objective of this research was to evaluate the ideal number of subsamples to compose a composite that better determines the specific areas of management and ratify the existence of an attribute (soil and / or plant) that can, spatially, to function as a quality indicator, that is, to characterize the specific areas of management, in order to increase the productivity of *Eucalyptus camaldulensis* at seven years of age. The study was conducted in 2015, at the UNESP - São Paulo State University, in Selvíria (MS, Brazil), latitude 20 ° 20 '31 "S, longitude 51 ° 24' 12" W. In order to do so, we analyzed the linear and spatial correlations between eucalyptus attributes and a Distrofic RED LATOSOLO, which were: circumference at breast height (CBH), height of the tree (HT), mean annual volume of wood with bark (VOL), soil bulk density (SB), soil penetration to resistance (PR), gravimetric moisture contents (GM), total porosity (TP), hydrogenation potential (pH), organic matter (OM) and carbon stock content (CS). A geostatistical mesh was installed with 120 points, consisting of six parallel transects (N-S direction), spaced at 14 m, with 20 sample points each, spaced at 18 m, leaving a 10 m border. With three sample compositions, the sample composition of a single data (CA1), sample composition with a mean of five data (CA5) and sample composition with a mean of ten data (CA10). The volume of the wood could be estimated by means of cokriging with resistance to soil penetration, thus confirming the PR as a potential attribute to act as a quality indicator aiming at increasing wood productivity. From the spatial point of view, the Composition Sampling with Average of ten data (CA10): presented the most satisfactory, being the only one able to characterize the variability of the attributes of *Eucalyptus camaldulensis*, making it possible to create maps relating to the soil, specific management areas.

Keywords: Precision forestry. *Eucalyptus camaldulensis*. Geostatistics.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Análise descritiva inicial de propriedades dendrométricas do <i>Eucalyptus camaldulensis</i> e de atributos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria, MS.....	63
Tabela 2	- Matriz de correlação entre atributos do <i>Eucalyptus camaldulensis</i> e de atributos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria-MS, da Composição amostral de um único dado.....	65
Tabela 3	- Matriz de correlação entre atributos do <i>Eucalyptus camaldulensis</i> e de atributos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria-MS, da Composição amostral com média de cinco dados.....	66
Tabela 4	- Matriz de correlação entre atributos do <i>Eucalyptus camaldulensis</i> e de atributos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria-MS, da Composição amostral com média de dez dados.....	67
Tabela 5	- Parâmetros dos semivariogramas simples e cruzados ajustados para alguns atributos das propriedades dendrométricas do <i>Eucalyptus camaldulensis</i> , e atributos do solo em Selvíria, MS (CA1).....	71
Tabela 6	- Parâmetros dos semivariogramas simples e cruzados ajustados para alguns atributos das propriedades dendrométricas do <i>Eucalyptus camaldulensis</i> , e atributos do solo em Selvíria, MS (CA5).....	72
Tabela 7	- Parâmetros dos semivariogramas simples e cruzados ajustados para alguns atributos das propriedades dendrométricas do <i>Eucalyptus camaldulensis</i> , e atributos do solo em Selvíria, MS (CA10).....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Exemplo de semivariograma experimental.....	42
Figura 2.	Representação gráfica de modelos de semivariograma.....	43
Figura 3.	Mapa de localização do experimento.....	55
Figura 4.	Precipitação pluvial (mm) e temperaturas máxima, média e mínima (°C) no período de coleta de dados.....	56
Figura 5.	Área experimental composta de <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	57
Figura 6.	Croqui da malha amostral com 120 pontos.....	58
Figura 7.	Semivariogramas simples dos atributos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria-MS da Composição Amostral de um Único Dado (CA1).....	76
Figura 8.	Mapas de krigagem dos atributos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria-MS da Composição Amostral de um Único Dado (CA1).....	77
Figura 9.	Semivariogramas simples dos atributos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria-MS da Composição Amostral com Média de Cinco Dados (CA5).....	78
Figura 10.	Mapas de krigagem dos atributos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria-MS da Composição Amostral com Média de Cinco Dados (CA5).....	79
Figura 11.	Semivariogramas simples dos atributos do <i>Eucalyptus camaldulensis</i> e de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria-MS da Composição Amostral com Média de Dez Dados (CA10).....	80
Figura 12.	Mapas de krigagem dos atributos do <i>Eucalyptus camaldulensis</i> e de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria-MS da Composição Amostral com Média de Dez Dados (CA10).....	81
Figura 13.	Semivariogramas cruzados de atributos do <i>Eucalyptus camaldulensis</i> e do solo em função de atributos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria-MS da	82

	Composição Amostral com Média de Dez Dados (CA10).....	
Figura 14.	Mapas de co-krigagem dos atributos do <i>Eucalyptus camaldulensis</i> e do solo em função de atributos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria-MS da Composição Amostral com Média de Dez Dados (CA10).....	83
Figura 15.	Semivariograma simples e Mapa de krigagem do Volume da Madeira e da Resistência à penetração, 0,00-0,20m em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria, MS da Composição Amostral com Média de Dez Dados (CA10).....	84
Figura 16.	Mapa de krigagem, semivariograma cruzado e mapa de co-krigagem do Volume da madeira em função da Resistência à penetração, 0,00-0,20m em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso em Selvíria, MS da Composição Amostral com Média de Dez Dados (CA10).....	84

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	31
2	REVISÃO IBLIOGRÁFICA.....	33
2.1	Eucalipto.....	33
2.2	Agricultura de precisão.....	35
2.3	Estatística clássica.....	36
2.4	Densidade amostral.....	38
2.5	Geostatística.....	40
2.5.1	<i>Semivariograma</i>	41
2.5.2	Krigagem.....	44
2.5.3	<i>Semivariograma cruzado</i>	45
2.5.4	Co-krigagem.....	45
2.6	Solo ideal.....	46
2.6.1	<i>Resistência à penetração</i>	47
2.6.2	<i>Umidade do solo</i>	48
2.6.3	<i>Densidade do solo</i>	49
2.6.4	<i>Densidade da partícula</i>	50
2.6.5	<i>Porosidade total</i>	51
2.6.6	<i>Potencial hidrogeniônico</i>	52
2.6.7	<i>Matéria Orgânica</i>	53
2.6.8	<i>Estoque de carbono</i>	54
3	MATERIAL E ÉTODOS.....	54
3.1	Local da pesquisa e características climáticas.....	54
3.2	Histórico da área, Implantação, coleta e metodologia.....	56
3.3	Análise estatística e geoestatística dos atributos pesquisados.....	60
4	RESULTADOS E ISCUSSÃO.....	61
5	CONCLUSÕES.....	85
	REFERÊNCIAS.....	86

1 INTRODUÇÃO

No Brasil a área ocupada por florestas plantadas no ano de 2016, já ocupava cerca de 7,84 milhões de hectares, sendo que de eucalipto correspondiam a aproximadamente 5,7 milhões de hectares, e em Mato Grosso do Sul a área ocupada por florestas plantadas de eucalipto é de cerca de 0,99 milhões de hectares de acordo com dados do IBGE, (2016), mostrando assim a importância da cultura.

Para realizar o manejo florestal, geralmente é obtido um valor médio de produtividade e incremento. Mesmo já havendo sido detectada a variabilidade espacial para florestas, dificilmente é realizado um manejo espacializado. Mostrando assim uma carência na área de silvicultura de precisão, necessitando de maiores pesquisas para obter o conhecimento necessário e realizar a quantificação da variabilidade da produtividade em florestas (SANTOS et al., 2017).

A amostragem é um dos primeiros passos para a implantação do sistema da Agricultura de Precisão (AP), e devem não só quantificar o status de um parâmetro agrônômico, mas também caracterizar a sua variabilidade espacial na forma de mapas temáticos. Sendo assim para caracterizar o todo adequadamente a amostragem deve ser bem planejada a fim de se obter sucesso na utilização das técnicas de AP (MOLIN et al., 2015).

De acordo com Molin et al. (2015), a amostragem visa representar um talhão baseado na observação em apenas alguns locais, ou seja, com base na avaliação de apenas uma porção (amostras). Sendo que em cada ponto amostral é obtida uma amostra composta de subamostras, e o número a serem coletadas varia de acordo com uma metodologia específica para cada parâmetro avaliado ou cultura. Os autores afirmam ainda que de acordo com o atributo a ser avaliado na amostragem de solo e seu comportamento no solo, tem uma demanda por um número maior ou menor de subamostras e as informações a respeito da escolha do número de subamostras ainda é escasso.

Montanari et al. (2005), estudando a otimização amostral de LATOSSOLOS sob cultivo de cana-de-açúcar, verificaram que os custos, tanto da coleta como da análise das amostras, a fim de caracterizar a variabilidade espacial é um dos fatores limitantes em estudos de reconhecimento e mapeamento de locais específicos de

manejo. Dessa forma, o uso de técnicas com o objetivo de otimizar a quantidade de amostragem é de grande importância.

Portanto, objetiva-se com a presente pesquisa avaliar com base na análise geoestatística o número ideal de subamostras para compor uma amostra composta que melhor se apresente para determinar as zonas específicas de manejo e ratificar a existência de um atributo (solo e/ou planta) que possa espacialmente funcionar como indicador de qualidade, isto é, caracterizar as zonas específicas de manejo, quando o objetivo for o de aumentar a referida produtividade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Eucalipto

A superpopulação humana é um dos fatores que desequilibram o meio ambiente, proporcionando um aumento no consumo dos recursos naturais do planeta. Em 2030 a população mundial deverá atingir cerca de 8,4 bilhões de habitantes. O aquecimento global é um dos mais discutidos problemas ambientais da atualidade, intensificado principalmente pelo aumento de emissão dos gases de efeito estufa, desmatamento e queimadas de matas e florestas.

Para o setor de produção florestal a questão ambiental traz simultaneamente desafios e oportunidades, a madeira e suas fibras derivadas, deverão mostrar-se cada vez mais atraentes, por terem características de biomateriais renováveis, sendo essa, uma das características de sustentabilidade que poderá consolidar como um dos principais argumentos para que, as fibras e outros insumos florestais sejam apresentados como alternativa válida para o uso e substituição de outros produtos que não possuem características renováveis (ABTCP, 2017).

O aumento na qualidade de vida da população, do conhecimento e consciência dos problemas ambientais, manifesta-se em mudanças nos hábitos de consumo e maiores exigências nos padrões de higiene, estimulando como, por exemplo, um maior consumo de papéis para embalagens. Em 2030, a demanda global de papéis e embalagens poderá chegar a 467 milhões de toneladas, crescendo a uma taxa anual de cerca de 1,0%, mostrando ser um grande motivador na busca por uma economia de baixo carbono e mais sustentável, aproveitando o apelo ecológico e a sustentabilidade comprovada do setor de produtos de base florestal (ABTCP, 2017).

O setor brasileiro de árvores plantadas é um dos segmentos com maior contribuição para a construção de uma economia verde. Possui um total de 7,84 milhões de hectares de reflorestamento, sendo responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais e 6,2% do PIB Industrial no País, ocupando a segunda posição entre os maiores produtores mundiais de celulose com o crescimento de 8,1% entre 2015 e 2016, tendo no ano de 2016 uma produção média de 35,7 m³/ha ao ano de madeira proveniente dos plantios de eucalipto (INDÚSTRIA

BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ, 2017). No entanto, o Brasil possui projeções que indicam que o potencial produtivo da cultura é de 70 m³ /ha/ano, o que intensifica as pesquisas constantes nas melhorias das técnicas de manejo e melhoramento genético, responsáveis pelos incrementos em produtividade alcançados nos últimos anos (BRACELPA, 2014).

O Mato Grosso do Sul foi o estado com maior expansão de plantio de eucalipto entre 2015 e 2016, registrando aumento de 400 mil hectares neste período, com uma taxa média de crescimento de 13% a.a. Os plantios de eucalipto ocupam 5,7 milhões de hectares de área de reflorestamento do País e estão localizados, principalmente, em Minas Gerais (24%), em São Paulo (17%) e no Mato Grosso do Sul (15%) (IBÁ, 2017).

O *Eucalyptus camaldulensis*, pertencente ao subgênero *Symphyomyrtus*, é natural da Austrália como as demais espécies do gênero *Eucalyptus* (SILVA, 2010), foi pioneira entre as espécies do gênero a ser plantada fora da Austrália com sucesso (ELDRIDGE et al., 1993) inicialmente no Brasil para fins ornamentais depois assumindo finalidades produtivas (MARTINI, 2004).

A introdução do eucalipto para fins produtivos no Brasil aconteceu em 1904 pelo Engenheiro Agrônomo Edmundo Navarro de Andrade, que trouxe uma coleção de espécies e variedades do gênero e iniciou os reflorestamentos experimentais com intenção de produção de lenha e dormentes para a Companhia Paulista de Estradas de Ferro, onde era funcionário.

O *Eucalyptus camaldulensis* tornou uma espécie de grande importância para setor brasileiro de produção florestal, pois se destaca entre as espécies do gênero pela sua boa adaptabilidade a condições ambientais adversas no que diz respeito à baixa pluviosidade, alta temperatura e solos com baixa fertilidade (SILVA, 2016) além de possuir rápido crescimento, madeira de qualidade para papel, celulose, movelaria e construção civil (SILVA, 2010).

De acordo com Barbosa et al. (2012) as áreas de Cerrado do estado de Mato Grosso do Sul apresentam solos altamente intemperizados, ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes, fazendo-se necessária a correção e adubação dos mesmos para níveis adequados ao desenvolvimento de espécies florestais de crescimento rápido.

Os empreendimentos do setor florestal procuram maior eficiência no planejamento e gestão florestal, para avaliar o desenvolvimento e a produtividade das florestas (LIMA, 2015), conforme intensifica a necessidade por informações mais detalhadas de uma área de produção, consolida a utilização de ferramentas aplicadas a silvicultura de precisão (PELISSARI et al., 2012) uma dessas ferramentas é a geoestatística que afirma uma condição impositiva que exista dependência espacial. De acordo com alguns trabalhos pode-se constatar que existe dependência espacial para atributos dendrométricos, como circunferência à altura do peito, altura das árvores, volume de madeira, área basal etc. (RUFINO et al., 2006; MELLO et al., 2005; SOUZA et al., 2015).

2.2 Agricultura de precisão

Os fundamentos da Agricultura de precisão (AP), segundo a literatura, surgiram em 1929, nos Estados Unidos, e foram descritos por Linsley e Bauer na circular nº 346 da Estação Experimental Agrícola da Universidade de Illinois, onde constataram haver grande variação na exigência de calagem em determinada área e a aplicação deveria respeitar essa variabilidade (GOERING, 1993). Porém, somente a partir dos anos 80, com a evolução tecnológica, iniciaram pesquisas relacionadas a AP, desenvolvendo o conceito de preparo do solo pré-determinado (JOHNSON et al., 1983; BALASTREIRE, 1998).

Segundo Molin et al. (2015), a origem da AP deve-se ao fato de que as lavouras não são uniformes no espaço nem no tempo. Sendo assim, é necessário o desenvolvimento de estratégias para gerenciar os problemas advindos dessa desuniformidade com variados níveis de complexidade.

A comissão Brasileira de Agricultura de Precisão, órgão consultivo do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, define AP como “um conjunto de ferramentas e tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva, visando ao aumento de retorno econômico e à redução do impacto ao ambiente” (BRASIL, 2014).

Atualmente, expandiu-se a aplicação de insumos a taxa variada, utilizando um manejo localizado do solo, com intuito de otimizar o processo produtivo e reduzir os

impactos ambientais. Para tanto, a amostragem é indispensável para caracterizar a variabilidade espacial dos atributos do solo (BOTEGGA et al., 2013). Fato de extrema importância na silvicultura, tanto no manejo adequado do solo, quanto para a escolha da espécie de eucalipto, levando em consideração a exigência da área a ser implantada.

Para se realizar o manejo florestal, geralmente é obtido um valor médio de produtividade e incremento. No entanto, dificilmente é realizado um manejo espacializado. Mostrando assim uma carência na área de silvicultura de precisão (SP), necessitando de maiores pesquisas para que se realize a quantificação na variabilidade da produtividade em florestas plantadas (SANTOS et al., 2017).

2.3 Estatística clássica

Dados por meio de tabelas de frequência e gráfico de ramo-e-folha podem fornecer maior quantidade de informação de uma variável do que a tabela original de dados, sendo que, quando usa-se um só valor obtém-se uma redução drástica dos dados, então emprega-se uma das seguintes medidas centrais: A *moda* que é definida como a realização mais frequente do conjunto de valores observados, podendo haver mais de uma moda, sendo a distribuição bimodal, trimodal etc.; *mediana* é a realização que ocupa a posição central da série de observações, quando estão ordenadas em ordem crescente; a *media aritmética* é a soma das observações dividida pelo número delas (BUSSAB; MORETTIN, 2010).

Utilizando-se o SAS (SCHLOTZHAVER; LITTEL, 1997) para cada atributo estudado a análise descritiva auxiliada pela estatística clássica, calcula-se a média, mediana, moda, valores mínimo e máximo, desvio padrão, coeficiente de variação, curtose e assimetria, identificando os pontos anômalos (outliers), conforme identificação no gráfico de ramos e folhas, efetuando-se a substituição deles pelo valor médio dos circunvizinhos presentes na malha geoestatística, efetuando a análise da distribuição de frequência dos dados. Desta forma, testando a hipótese de normalidade, ou de lognormalidade dos atributos, se utiliza do teste de Shapiro e Wilk a 1%, em que a estatística W testa a hipótese nula, a qual julga ser a amostra proveniente de população com distribuição normal.

De acordo com Isaaks e Srivastava (1989), análises estatísticas clássicas consideram a independência entre as amostras, baseadas na média, vêm sendo associadas com análises geoestatísticas fundamentadas na teoria das variáveis regionalizadas, por meio do semivariograma e da dependência espacial. Na geoestatística os locais de amostragem são definidos. Nos dois tipos de coleta pode-se calcular a média e a variância, contudo, somente por meio da geoestatística, que considera a dependência espacial entre as medidas, pode-se obter a estrutura da variância, evidenciando aspectos não disponíveis por outros métodos (LIBARDI et al., 1996).

Um dos objetivos de estudar a correlação linear é a tentativa de selecionar aqueles de elevada correlação e que, provavelmente, poderiam apresentar semivariograma cruzado e, portanto, co-krigagem. Busnardo et al. (1983) analisaram as propriedades fundamentais da madeira e às correlacionaram em análises de regressão linear simples, verificando a possibilidade de estimar os parâmetros de qualidade da madeira através das variáveis dendrométricas como Circunferência à Altura do Peito - CAP e a altura comercial. Matrizes de correlação visam efetuar as regressões lineares para as combinações, duas a duas, entre todos os atributos estudados (solo e planta) para cada ponto amostral, em ambas as profundidades.

Um critério usado para medir a dispersão dos dados em torno de sua média e duas médias, permitindo comparar alguns conjuntos diferentes de valores, são as medidas de desvio médio e a variância, pois sumarizam a variabilidade de um conjunto de observações (BUSSAB; MORETTIN, 2010).

Segundo Domingues (2004), as medidas de curtose caracterizam a forma da distribuição quanto a seu achatamento, a comparação é feita em relação à distribuição normal, deste modo, uma distribuição normal tem um achatamento mediano, conhecida por distribuição mesocúrtica (forma de boca de sino), as distribuições mais achatadas que a normal são denominadas platicúrticas (forma de prato) e as menos achatadas são denominadas leptocúrticas (forma de chapéu mexicano).

Quando uma determinada propriedade do solo varia de um local para outro, obedecendo algum grau de organização, expressa pela dependência espacial, sai de cena a estatística clássica, considerando que as amostras aleatórias são independentes entre si, passando tal condição a ser priorizada como objeto de

estudo da geoestatística (PONTES, 2002), que é a ferramenta básica para o uso da agricultura de precisão, observando que as mais variadas interações entre os atributos do solo fazem com que a variabilidade espacial, horizontal e/ou vertical, seja algo inquestionável.

2.4 Densidade amostral

Para a adequada implantação do sistema de Agricultura de Precisão, a amostragem é um dos primeiros passos a ser realizado, e deve não apenas quantificar o parâmetro agrônomo, mas sim caracterizar a sua variabilidade espacial. Portanto é fundamental a representatividade dessas amostras, para que o todo seja caracterizado adequadamente e se obtenha sucesso na utilização das técnicas de AP (MOLIN et al., 2015).

Anchieta (2012) também afirma que não deve buscar por grades amostrais universais de solo, pois precisam ser levados em consideração as especificidades da localidade, manejo e histórico agrícola, aspectos morfológicos, aspectos da paisagem, entre outros fatores. Dessa forma, o levantamento amostral tem que ser estratégico e coerente para cada situação em questão. Sendo que o principal fator relacionado a uma ótima precisão está na amostragem e na interpretação dos resultados laboratoriais. Com isso, estudos vêm sendo realizados para definir e padronizar os corretos procedimentos para amostragem de solo, por exemplo, com as quantidades ideais de pontos por área para realização de uma amostragem. As quantidades de amostras dispostas no campo influenciam o custo/benefício da técnica.

É de extrema importância que erros de amostragem sejam evitados ou mesmo minimizados, sendo assim fundamental que se utilize uma densidade amostral adequada para que a variabilidade espacial dos atributos seja caracterizada eficientemente, o que implica diretamente no manejo correto de corretivos e fertilizantes. Pois, quando se realizam intervenções, baseadas em mapas que não representam as disponibilidades reais dos atributos, pode-se gerar a aplicação inadequada de insumos, reduzir a eficiência técnica e econômica, limitar o potencial produtivo das culturas e aumentar consequentemente os custos de produção e os riscos de contaminação ambiental (CHERUBIN, 2013).

O método de amostragem de solo mais utilizado e popularizado na agricultura de precisão é o realizado através do uso de malhas amostrais, porém ainda existem diversos questionamentos em relação a aplicabilidade desse método, com relação à dimensão ideal da malha amostral a ser utilizada no planejamento de amostragens. Sendo relatado ainda a necessidade do uso de malhas amostrais cuja densidade amostral tenha uma boa representatividade (CHERUBIN, 2013).

O conhecimento da variabilidade de atributos do solo é fundamental para determinar o número e a distribuição das amostras simples a serem coletadas por área para definir o espaçamento amostral ideal (SOUZA et al., 2006). Neste sentido, Silveira et al. (2000), pesquisando variabilidade de características químicas e amostragem em um LATOSSOLO, verificaram que, o pH pode ser obtido utilizando-se baixo número de subamostras, para apresentar uma variação máxima de 5% em torno da média, já o P e K, com baixo número de subamostras, a variação pode ser superior a 25%. Silveira e Cunha (2002) constataram que ao coletar 20 subamostras para formar uma amostra composta, os teores de argila, matéria orgânica, B e Mn são estimados com erro em torno de 10% do valor médio, e os de Cu e Zn, com erro superior a 25%.

Souza et al. (2006), trabalhando com amostragem de solo para determinação de variabilidade, observaram que com baixo número de subamostras (< 15), os valores das variáveis pH, matéria orgânica, CTC, porosidade total, microporosidade, densidade do solo, argila, silte e areia, apresentaram variação de 10% em torno da média. No entanto, para as variáveis H+Al, V% e resistência à penetração, é necessário um número de subamostras variando entre 15 a 30, já as variáveis P, K, Ca, Mg, macroporosidade e condutividade hidráulica saturada necessitam de um número de subamostras alto (> 30).

A fim de caracterizar a variabilidade de uma determinada região através das técnicas de geoestatística é necessário amostragens suficientemente próximas, o que em alguns momentos poderá inviabilizar a implantação da agricultura de precisão devido ao alto custo para a análise e coleta desse grande número de dados. Portanto, com o objetivo de evitar que isso ocorra é necessário um planejamento adequado, tornando assim possível realizar uma amostragem com maior número de pontos amostrais nos locais onde existam maior variabilidade e

reduzir a quantidade de pontos nos locais mais uniformes (GREGO; OLIVEIRA; VIEIRA, 2014).

2.5 Geostatística

Krige (1951), em trabalhos com dados de mineração de ouro, constatou que as variâncias dos dados obtidos dependiam da distância de amostragem, e a partir de então surgiram os conceitos básicos de geoestatística. A partir dessas premissas, Matheron (1962) trabalhou no desenvolvimento de funções espaciais, de variáveis localizadas que foi denominada de Teoria das Variáveis Regionalizadas, estas funções numéricas apresentavam continuidade aparente e sua variação não pode ser representada por uma função matemática simples.

A geoestatística é uma ferramenta utilizada na agricultura de precisão, com objetivo de caracterizar e fazer estimativas da variabilidade espacial dos atributos do solo e das plantas, a fim de se identificar inter-relações desses atributos no espaço e no tempo, além de permitir estudar padrões adequados de amostragem (FERRAZ et al., 2012; VIEIRA, 2000). Sua teoria fundamental consiste em que amostras próximas no tempo e espaço sejam mais similares entre si do que as mais distantes (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989).

A estatística clássica possibilita determinar a média e a variância, assim como na geoestatística, porém essa ferramenta também possibilita obter a estrutura da variância, pois considera a dependência espacial entre os dados, então as amostras devem ter sua localização definida (LIBARDI et al., 1996). Por meio dessa ferramenta é possível estimar com mínimo erro, atributos em locais não amostrados, a partir da elaboração de semivariogramas que quantificam a dependência espacial dos parâmetros do solo (MONTANARI et al., 2010).

O principal intuito é definir um ou mais pontos específicos da área e criar um grid de pontos interpolados, visando visualizar o comportamento da variável na região, o que é obtido por meio da krigagem (GOMES, et al. 2007). Sendo assim é possível mapear a área estudada, a partir do conhecimento da dependência espacial e estabelecer zonas específicas de manejo visando à conservação do solo, condições necessárias à agricultura de precisão (COELHO, 2003).

Para a agricultura de precisão, a geoestatística é de extrema importância, pois os programas computacionais a utilizam a partir dos mapas gerados para monitorar as máquinas agrícolas, via satélite, sendo assim possível uma aplicação de insumos com taxas variáveis (COELHO, 2003).

2.5.1 Semivariograma

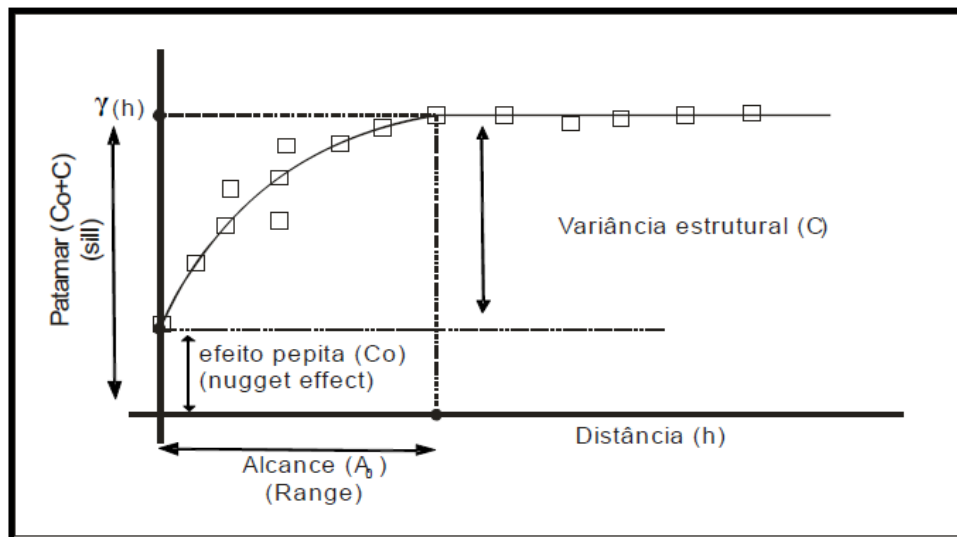
O semivariograma é uma das principais abordagens empregadas para estudo espacial de atributos do solo, utilizado na verificação da presença de dependência espacial entre pontos amostrais georreferenciados, permitindo representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço e no tempo. A escolha do modelo de semivariograma que será utilizado é um dos aspectos mais importantes da geoestatística, se o modelo ajustado não for apropriado, todos os cálculos seguintes conterão erros que poderão afetar as inferências (DALCHIAVON et al., 2011).

O semivariograma pode ser estimado por:

$$\gamma(h) = 1/2 \{Var [Z(t) - Z(t+h)]\} \dots\dots\dots(01)$$

Onde: $Var[Z(t)-Z(t+h)]$ é a variância dos dados separados por uma distância h , mas, na expressão acima, esta variância está sendo dividida por dois, então se utiliza o prefixo “semi” para distinguir da variância e dá-se o nome semivariância para $\gamma(h)$ e semivariograma para o gráfico de $\gamma(h)$ em função de h (figura 1).

Figura 1: Exemplo de semivariograma experimental



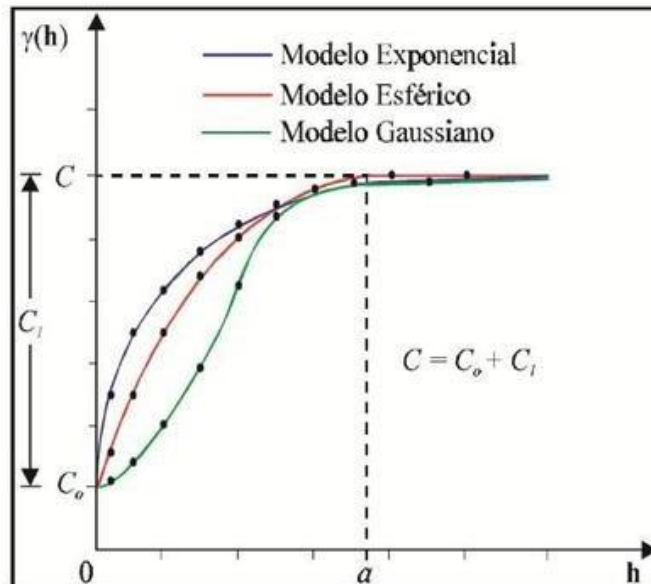
Fonte: Montanari (2009)

O semivariograma inicia com um baixo valor, denominado efeito pepita puro (C_0) e cresce à medida que h cresce, até uma distância denominada alcance (A_0), que determina a distância até a qual o atributo apresenta-se espacialmente dependente, onde dentro da área cujo raio é igual ao seu valor, possuem entre si extrema semelhança em magnitude. A partir dessa distância passam a assumir valores independentes (VIEIRA et al., 1983; MCBRATNEY; WEBSTER, 1981).

Quanto menor for o efeito pepita do semivariograma, menor será a variância da estimativa. Mais precisamente, quanto menor for a proporção do efeito pepita para o patamar do semivariograma, maior a continuidade do fenômeno, menor a variância da estimativa ou maior a confiança que se pode ter na estimativa. Quando tiver a ausência total de dependência espacial, ou se existir, será manifestada à distância ou tempo menor do que o menor espaçamento entre amostras, o semivariograma será constante e igual ao patamar, tendo assim o efeito pepita puro (KIM, 1990)

Os modelos de semivariograma mais utilizados são: modelo esférico, modelo exponencial e modelo gaussiano (figura 02).

Figura 02 - Representação gráfica de modelos de semivariograma



FONTE: Modificada de Isaaks e Srivastava (1989).

São considerados no ajuste dos modelos experimentais: a) o maior coeficiente de determinação (r^2); b) a menor soma dos quadrados dos desvios (SQD); e c) o maior avaliador do grau da dependência espacial (ADE). Com a validação cruzada é possível ratificar o ajuste e obter o número ideal de vizinhos que proporcionará a melhor krigagem (VIEIRA et al.1983)

Para cada atributo são estimados o efeito pepita (C_0 , alcance (A_0) e o patamar (C_0+C). A classificação da dependência espacial (ADE) conforme a seguinte expressão:

$$ADE = [C/(C+C_0)] \cdot 100 \dots\dots\dots(02)$$

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

Respeitando a seguinte interpretação de ADE: a) $ADE < 25\%$ indicando variável espacial com fraca dependência; b) $25\% < ADE < 75\%$ moderada dependência, e c) $ADE > 75\%$ forte dependência (CAMBARDELLA et al. 1994).

2.5.2 Krigagem

O termo krigagem é utilizado em homenagem a Daniel G. Krige, que foi o pioneiro em introduzir o uso de médias móveis para evitar a superestimação sistemática de reservas em mineração (DELFINER; DELHOMME, 1975).

A utilização das informações geradas na interpolação da estimativa de dados e posterior mapeamento da variável, é aplicação imediata do semivariograma. Esse método que utiliza o semivariograma em sua modelagem é chamado de krigagem, onde estima valores de atributos em locais não amostrados, sem tendência e com variância mínima, podendo expressar os resultados em forma de mapas de isolinhas ou de superfície tridimensional (VIEIRA et al., 1983; BORGELT et al., 1994).

O valor da variável espacial, num local não amostrado, é estimado por combinação linear de valores medidos em outros locais vizinhos, levando-se em conta a modelagem da dependência espacial da variável, expressa pelo semivariograma. Pontos próximos dos locais não amostrados têm maior peso do que os afastados e aqueles agrupados têm maior peso do que os isolados. Nessa situação o método fornece, além dos valores estimados, o erro associado à tal estimação, o que o distingue dos demais algoritmos de interpolação (LANDIM; STURARO, 2002).

A partir do uso dessa técnica é possível criar mapas da área de estudo, definindo linhas de isovalores, tornando possível conhecer o comportamento espacial do atributo analisado, permitindo um melhor planejamento das atividades agrícolas e experimentais e otimizando a tomada de decisão do manejo adequado (BURGESS; WEBSTER, 1980).

Dentre os diversos tipos de métodos de estimação utilizados, a krigagem ordinária é o procedimento mais empregado em dados de ciência do solo. Por ser considerada o melhor estimador linear sem viés, cujo objetivo é a minimização da variância da estimativa, porém a krigagem ordinária representa apenas uma variabilidade média dos atributos da área de estudo modelada pelo semivariograma (SILVA JÚNIOR et al., 2012).

2.5.3 Semivariograma cruzado

O semivariograma cruzado é uma ferramenta geoestatística utilizada quando há correlação espacial entre dois atributos estudados, pois ele verifica se há continuidade cruzada entre essas variáveis, dessa forma é possível verificar se a variabilidade de uma série é acompanhada pela da outra, seja direta ou indiretamente. Sendo portanto, denominado de co-krigagem, podendo ainda ser mais preciso do que o da krigagem em si (VIEIRA et al., 2000).

Os semivariogramas cruzados objetivam descrever a variação espacial e/ou temporal simultânea de duas variáveis aleatórias. Sendo comum ser validado para variáveis que possuem uma forte relação entre si. Assim é realizada a estimativa da correlação espacial entre duas variáveis com todas as combinações possíveis (HOLMES et al., 2005).

As características ideais para o semivariograma cruzado são aquelas em que ele é semelhante ao semivariograma simples, possui o patamar definido, semivariância crescente para pequenas distâncias, porém, com significados diferentes, já que é o produto de duas variáveis diferentes.

O cálculo do semivariograma cruzado é efetuado utilizando-se a expressão descrita por Vauclin et al. (1983):

$$\hat{\gamma}_{12}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z_1(x_i + h) - z_1(x_i)] [z_2(x_i + h) - z_2(x_i)].$$

Em que:

z_1 representa o atributo de produtividade e z_2 , o atributo de solo avaliado, $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z_1(s_i)$, $Z_1(s_i + h)$ e $Z_2(s_j)$, $Z_2(s_j + h)$ para as variáveis Z_1 e Z_2 , separados por uma distância amostral, vetor h

2.5.4 Co-krigagem

A técnica da co-krigagem permite estimar uma variável primária de interesse por intermédio de uma variável secundária. Porém, ambas variáveis devem ter

correlação (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). O método pode ser utilizado quando uma variável apresenta-se sub-amostrada em relação às demais, com objetivo de melhorar a estimativa da variável sub-amostrada utilizando aquelas mais densamente amostradas. Assim, a ferramenta vem sendo muito utilizada em diversas situações de estimativa e modelagem (CARR; MYERS; GLASS, 1985; MARCOTTE, 1991).

Consiste em estimar valores de um atributo do solo de difícil mensuração, com base em um atributo com maior facilidade de obtenção, que apresentem domínio espacial e significativo grau de correlação. Essa estimativa pode ser até mais precisa do que a krigagem de uma variável simples, quando o semivariograma cruzado mostrar dependência espacial entre duas variáveis (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989; VIEIRA, 2000).

Para Landim (2003), na co-krigagem é fundamental a verificação prévia da correlação espacial existente entre as variáveis, à qual deve ser alta para que as estimativas sejam consistentes. Também, deve ser notado que a melhoria de interpretação somente é significativa quando uma das variáveis tem um número extremamente reduzido de casos em relação à outra.

Assim, a partir do mapeamento das correlações existentes, diretas e/ou indiretas, entre a produtividade das culturas e os atributos do solo, pode-se efetuar a aplicação dos insumos com taxas variadas. Realizando o manejo adequado de acordo com a necessidade da área, prática utilizada na agricultura de precisão, onde se objetiva o desenvolvimento econômico do meio rural e a otimização da eficiência gerencial que determinadas áreas agrícolas necessitam (PIERCE; NOWAK, 1999).

2.6 Solo ideal

A aptidão do solo de desempenhar diversas funções, define a qualidade desse recurso, respeitando os limites dos ecossistemas e do uso da terra, colabora com a melhoria das condições ambientais e com o desenvolvimento saudável das plantas, atividade biológica e bem-estar dos animais e seres humanos, (DORAN; PARKIN, 1994).

As qualidades de um solo são determinadas por três aspectos principais, que são eles: físico, químico e biológico. A qualidade física possui grande importância

em relação ao grau de degradação do solo e também na determinação de práticas de uso sustentáveis. Muitos afirmam que a principal preocupação está em torno das qualidades físicas do solo, porém o aspecto físico tem afetado indiretamente os atributos químicos e biológicos, uma vez que todos eles estão inter-relacionadas, ou seja, manejo realizado para melhorar a qualidade física de determinado solo indiretamente também estará contribuindo para a melhoria dos demais atributos, tanto os biológicos como os químicos (DEXTER, 2004).

Um solo sob condições naturais, que esteja sob vegetação nativa, apresenta atributos físicos e químicos, como a permeabilidade, estrutura, densidade, porosidade, pH, teores de MO, em quantidades adequadas para um pleno desenvolvimento das plantas. Porém, quando há ação antrópica e é utilizado na prática intensiva para produção agrícola sem um manejo adequado, podem ocorrer alterações na quantidade e qualidade dos atributos, o que pode ocasionar uma redução na sua qualidade (ANDREOLA et al., 2000).

2.6.1 Resistência à penetração

A resistência à penetração (RP) é um atributo físico do solo estabelecido pela pressão, sendo a razão qualquer entre a força necessária para a penetração da base metálica do penetrômetro, provida de uma extremidade, pela área basal do mesmo que é conhecida e constante (ROSA FILHO et al., 2009).

Segundo Klein et al. (1998), a resistência mecânica do solo à penetração pode sofrer influência de diversos fatores, e os principais atributos que a afetam são a densidade do solo e a umidade. Os autores afirmam ainda que em uma pesquisa sobre resistência mecânica do solo à penetração é de grande importância que se tenha conhecimento das condições de densidade e de umidade, pois esses atributos influenciam diretamente os valores da resistência mecânica do solo à penetração.

O desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente, da parte aérea das plantas, é afetado diretamente pela resistência à penetração. Os efeitos do impedimento mecânico sobre o crescimento radicular dependem das características pedológicas e do tipo de manejo que está sendo aplicado ao solo. Quando se tem valores elevados de RP o desenvolvimento do sistema radicular é reduzido, e

consequentemente também pode afetar significativamente a produtividade final da área (LETEY, 1985).

A resistência mecânica à penetração é dentre os atributos físicos o mais adotado como indicador da compactação do solo. A RP apresenta relações diretas com o desenvolvimento das plantas, e é muito mais eficiente na determinação da compactação quando acompanhada dos dados de umidade e da densidade do solo (FREDDI et al., 2006). Genro Junior et al. (2004) afirmam que a resistência à penetração geralmente é aumentada com a compactação do solo devido ao grande aumento dos valores de densidade do solo e também devido a redução significativa das condições de umidade. O aumento dos valores de RP não é desejável para o crescimento das plantas pois causa redução do crescimento radicular, o que afetará o desenvolvimento da planta como um todo.

A classificação para os valores de resistência à penetração do solo foi estabelecida por Arshad et al. (1996), definindo-as da seguinte forma: extremamente baixa: $RP < 0,01$ MPa; muito baixa: $0,01 \leq RP < 0,1$ MPa; baixa: $0,1 \leq RP < 1,0$ MPa; moderada: $1,0 \leq RP < 2,0$ MPa; alta: $2,0 \leq RP < 4,0$ MPa; muito alta: $4,0 \leq RP < 8,0$ MPa e extremamente alta: $RP > 8,0$ MPa.

2.6.2 Umidade do solo

A umidade do solo possui métodos de ser medida de maneira direta ou indireta. O método de medida da umidade do solo padrão é o direto também chamado de umidade gravimétrica, nesse método a massa de água encontrada em uma determinada amostra de solo é encontrada pelo calculo da diferença entre o peso da amostra úmida e seca. Sendo este um método bem simples, prático e preciso, principalmente quando é medido com balança digital com resolução próxima de centésimos de grama. Apesar disso, a gravimetria apresenta algumas desvantagens por ser um método destrutivo e demorado, se comparado aos métodos de medida indireta de acordo com Gilberto Júnior (2003). Já o método indireto é conhecido como umidade volumétrica, onde a umidade é encontrada através da relação entre o volume de água numa amostra do solo, e o volume total da amostra.

De acordo com Ávila et al. (2011), entre os principais papéis da umidade do solo está a sua ação nos processos hidrológicos de superfície e transporte de sedimentos em função da sua relevante participação na separação da precipitação em infiltração e escoamento superficial. Além de ter grande influência na interação solo-atmosfera, principalmente na evapotranspiração e nos processos vinculados à erosão hídrica, sendo dessa forma a sua aplicabilidade a uma extensa faixa de ações visando manter a conservação do solo e da água.

Este atributo pode ainda influenciar diretamente o volume de água armazenado no solo, assim como a sua resistência à penetração e a compactação do solo. Portanto, é um atributo físico de grande importância para estudos de movimento da água no solo, assim como a adoção de determinadas práticas de manejo culturais e irrigação (BERNARDO et al., 2006).

A determinação da umidade do solo, segundo Kaiser et al. (2010), é fundamental para o desenvolvimento de muitas situações na agricultura e é ainda determinada para a definição do momento de realização das operações mecanizadas e também para o controle adequado do manejo da irrigação. Afeta também a porosidade e suscetibilidade à compactação, dessa forma faz-se necessário a adoção de práticas que permitam o monitoramento espacial e temporal da umidade do solo.

2.6.3 Densidade do solo

A densidade do solo é também um atributo físico e segundo Carvalho (1976) pode ser definida como sendo o quociente entre a massa de sólidos pelo volume total. Serve como um indicador do estado de conservação do solo, e é amplamente utilizada na determinação da compactação assim como do adensamento do solo.

Pode também ser considerado como um atributo avaliador da qualidade estrutural do solo. Desta forma, Doran et al. (1994) afirmam que alterações nos valores de densidade refletem diretamente em mudanças na estrutura do solo, em função da estreita relação que existe entre a densidade e a porosidade total.

Um aumento nos valores de densidade do solo não é necessariamente prejudiciais ao crescimento das culturas, pois até certos limites, variando também de cultura para cultura, este aumento pode ainda colaborar com a manutenção de água

no solo e também com a capacidade de suporte de carga do mesmo, segundo Reichert et al. (2007). Sendo assim, quando acima desses limites toleráveis, quanto maior for a densidade do solo, mais compactado o solo está, o que pode causar restrição no crescimento e desenvolvimento das plantas.

A densidade do solo possui grande variabilidade para um mesmo solo, alterando-se de acordo com a estruturação e manejo de solo. O manejo inadequado de uma área cultivada pode gerar a compactação deste solo, alterando toda a sua estruturação (PRIMAVESI, 1990). Dessa forma, a densidade do solo é o reflexo do equilíbrio entre as fases sólida, líquida e gasosa que compõem o solo e possui relação direta com a porosidade, assim como com a umidade.

O uso intensivo de máquinas e implementos na agricultura moderna, sem um planejamento e manejo adequados pode alterar as propriedades do solo, gerando assim camadas compactadas subsuperficiais, o que leva ao aumento de sua resistência à penetração, redução da porosidade, da permeabilidade e também da disponibilidade de nutrientes e água. Assim, interfere diretamente no crescimento e no desenvolvimento das plantas e aumenta a densidade do solo (PRADO et al., 2002).

Letey (1985) afirma que a densidade da camada superficial da maioria dos solos varia de 1,0 a 1,6 kg dm³. A densidade do solo ao redor de 1,3 kg dm⁻³ pode ser ideal para o crescimento da maioria das culturas. Já Bowen (1981) considera que valores em torno de 1,55 kg dm⁻³, para solos franco-argilosos e argilosos e de 1,85 kg dm⁻³, para solos arenosos, são aos níveis críticos da densidade do solo e a partir destes valores a densidade do solo passa a afetar o desenvolvimento das plantas.

2.6.4 Densidade da partícula

A densidade da partícula é um atributo físico de solo que é determinada pela relação direta entre a quantidade de massa de solo seco por unidade de volume de sólido do solo. Ela está relacionada diretamente com a composição mineralógica e química do solo, sendo assim, não sofre interferência do manejo do solo e da porosidade do solo. Sua medida pode ser realizada pelo método do balão

volumétrico, descrito por Kiehl (1979) e EMBRAPA (2011), e é um dos métodos mais utilizados para a sua determinação.

Os valores encontrados de densidade da partícula em um determinado solo dependem diretamente da quantidade e da constituição da parte mineral e da parte orgânica, tendo assim pouca variabilidade para um mesmo solo, além disso, também não varia em grande escala entre diferentes tipos de solo. Seus valores tendem a se aproximar dos de sua rocha de origem. Variando em média, em torno de 2,3 e 2,9 kg dm⁻³. Como valor médio adota-se 2,65 kg dm⁻³, isto porque os constituintes minerais predominantes nos solos geralmente são o quartzo, os feldspatos e os silicatos de alumínio coloidais, cujas densidades de partículas estão em torno de 2,65 kg dm⁻³ (KIEHL, 1979).

Sendo assim, com as medidas de densidade da partícula é possível ter uma ideia sobre qual a predominância dos elementos orgânicos e inorgânicos presentes no solo. Pois, nos solos derivados de rochas básicas, que contêm minerais pesados, tal como o LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico e/ou Distroférico, a densidade da partícula pode chegar ao máximo de 3,16 kg dm⁻³. Por outro lado, solos com grandes teores de matéria orgânica apresentam os menores, da ordem de 1,90 kg dm⁻³, assim como, em solos ricos em matéria orgânica humificada pura, os valores variam entre 0,60-1,00 kg dm⁻³ (KIEHL, 1979, RAIJ, 1991).

2.6.5 Porosidade total

A porosidade, que também é um atributo físico do solo, que é determinada pelo espaço poroso que se tem no solo, mesmo após o arranjo dos componentes da parte sólida e que, em condições naturais, é ocupada por água e ar, está relacionada diretamente à textura e estrutura dos solos, determinando ainda a capacidade de drenagem interna, retenção de água e condições de aeração. A caracterização da porosidade é fundamental para a adoção de medidas de manejo do solo, uma vez que ela está diretamente ligada à dinâmica de armazenamento e movimento da água e dos solutos e aeração no solo. Portanto, o espaço poroso do solo é um regulador das relações entre suas fases, sólida, líquida e gasosa (KIEHL, 1979; TEIXEIRA et al., 2009).

A porosidade do solo segundo Andreolla (2005) pode ser dividida em macroporos e microporos (o que corresponde a poros maiores e menores de 0,05mm), que respectivamente deve estar entre 17% e 33%, atuando diretamente nas relações de troca entre as fases sólida, líquida e gasosa dos solos. A porosidade total é definida como a porção do volume do solo não ocupada pelas partículas sólidas, dada em $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$, é considerada ideal quando apresentar metade do seu volume, ou seja, $0,500 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (KIEHL,1979).

De acordo com Raij (1991), os solos arenosos geralmente são bem arejados e com drenagem rápida, pois possuem uma grande quantidade de macroporos, logo possuem uma baixa capacidade de retenção de água. Já os solos argilosos apresentam elevada capacidade de retenção de água, em função de uma maior quantidade de microporos e da porosidade total, porém, algumas vezes os solos argilosos podem apresentar problemas de aeração devido aos baixos valores de macroporosidade.

2.6.6 Potencial hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico (pH) é uma das propriedades químicas do solo de grande importância para a determinação da produção agrícola. O pH influencia diretamente a solubilidade, a concentração em solução e a forma iônica dos nutrientes presentes no solo e, conseqüentemente, irá influenciar também na absorção e utilização dos mesmos pelas plantas. Além disso, segundo Fageria et al. (2000), o pH também afeta a atividade dos microrganismos do solo que são responsáveis pela mineralização da matéria orgânica, nitrificação, fixação biológica de nitrogênio e infecção do sistema radicular com micorrizas, que proporcionam um aumento na disponibilidade de nutrientes.

Acredita-se que a faixa de pH entre 5,8 e 6,2 é a faixa em que a maioria dos nutrientes essenciais para as plantas se encontram com maior disponibilidade para as plantas (VOLKWEISS; TEDESCO, 1984; LOPES; GUIDOLIN, 1989). Os macronutrientes, N, P, K, Ca, Mg e S encontram-se mais disponíveis em pH mais elevado, e os micronutrientes, como o Cu, Fe, Zn e Mn, têm suas concentrações reduzidas quando se aumenta o pH e o B, Mo e Cl são mais disponíveis em pH mais alcalinos (SOUSA et al.,1989).

2.6.7 Matéria orgânica

A matéria orgânica do solo (MO) pode ser definida como a substância de natureza orgânica em avançado estágio de alteração, e possui efeito direto sobre as características físicas, químicas e biológicas dos solos, e é muito importante para a manutenção da capacidade produtiva dos solos. Em relação aos atributos físicos do solo, a MO proporciona uma melhora na estrutura do solo, pois é fundamental na formação dos agregados, reduz também a plasticidade e coesão, aumenta ainda a capacidade de armazenamento de água conforme aumenta a aeração, permitindo um melhor desenvolvimento e distribuição das raízes, e uma vez que as raízes exploram uma maior área de solo também proporcionará que as plantas tenham uma melhor absorção de nutrientes.

A MO age também diretamente sobre os atributos químicos dos solos tropicais por ser uma das principais fontes de macro e micronutrientes essenciais às plantas, como também indiretamente, por proporcionar uma maior disponibilidade dos nutrientes, devido à elevação do pH, e também por exercer poder tampão não permitindo assim grandes variações nos valores de pH, além de aumentar a capacidade de retenção dos nutrientes, evitando suas perdas. Biologicamente, a MO eleva a atividade da biota do solo, sendo fonte de energia e de nutrientes para a mesma (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

A qualidade de um solo é definida pela sua capacidade de manter a produtividade biológica ao longo do tempo, sem afetar a saúde dos seres vivos e a qualidade do meio ambiente (DORAN; PARKIN, 1994). Logo, a matéria orgânica do solo é considerada um dos principais indicadores de qualidade do solo, pois influencia tanto propriedades físicas, químicas como as propriedades biológicas do solo que afetam a produtividade vegetal e os ciclos biogeoquímicos (MIELNICZUK, 2008).

O cultivo intensivo do solo e o seu preparo em condições inadequadas quando não há a adoção de práticas conservacionistas alteram as características físicas e o teor de matéria orgânica de um solo em graus variáveis com a sua natureza. Dependendo da intensidade dessas modificações, tais alterações podem

produzir condições limitantes ao desenvolvimento dos vegetais causando prejuízos à produtividade, além de grandes perdas de solo por erosão (SOUZA; ALVES, 2003).

2.6.8 Estoque de carbono

O balanço entre a adição de material vegetal morto e a perda pela decomposição ou ainda através da mineralização representa o estoque de carbono de um solo sob vegetação natural. A qualidade do estoque de carbono da vegetação depende muito do clima da região (principalmente, temperatura do ar e chuvas), do tipo de vegetação e da fertilidade do solo (solos férteis resultam em plantas maiores que contêm mais carbono a ser depositado no solo) (MACHADO, 2005).

Os solos armazenam quatro vezes mais Carbono que o carbono que é sequestrado pela vegetação. Esse carbono acumula-se no solo na forma de MO, que se decompõe, sendo assim um dos mais importantes reservatório nos sistemas terrestres. Porém, mudanças na cobertura vegetal/desmatamento vêm alterando o equilíbrio natural do carbono no solo, pois estas ações provocam a perda de carbono (ROSCOE, 2003; WATSON et al., 2000).

Solos sob florestas em regiões tropicais apresentam maior potencial de dreno de carbono, quando se comparado aos solos utilizados para fins agrícolas, em função de uma maior biomassa depositada anualmente na forma de manta orgânica e de raízes mortas, e nos sistemas agrícolas pouco se é depositado no solo para manter esse estoque de carbono (LAL et al., 1995; KRISHNAMURTHY; ÁVILA, 1999). O acúmulo anual de carbono em solos cultivados nos sistemas de plantio direto para todo o Brasil foi estimado em $-0,5$ a $0,9 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com valor médio de $0,65 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, um acúmulo muito maior quando comparado ao plantio convencional (BERNOUX et al., 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local da pesquisa e características climáticas

O estudo foi desenvolvido em 2015, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, em Selvíria (MS,

Brasil), latitude 20° 20' 31" S, longitude 51° 24' 12" W e altitude de 363m (Figura 03). O tipo climático é Aw, segundo a classificação de Koeppen, classificado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O solo, classificado conforme a EMBRAPA (2013), é um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso, A moderado (Haplic Acrustox), com declive de 0,025m m⁻¹.

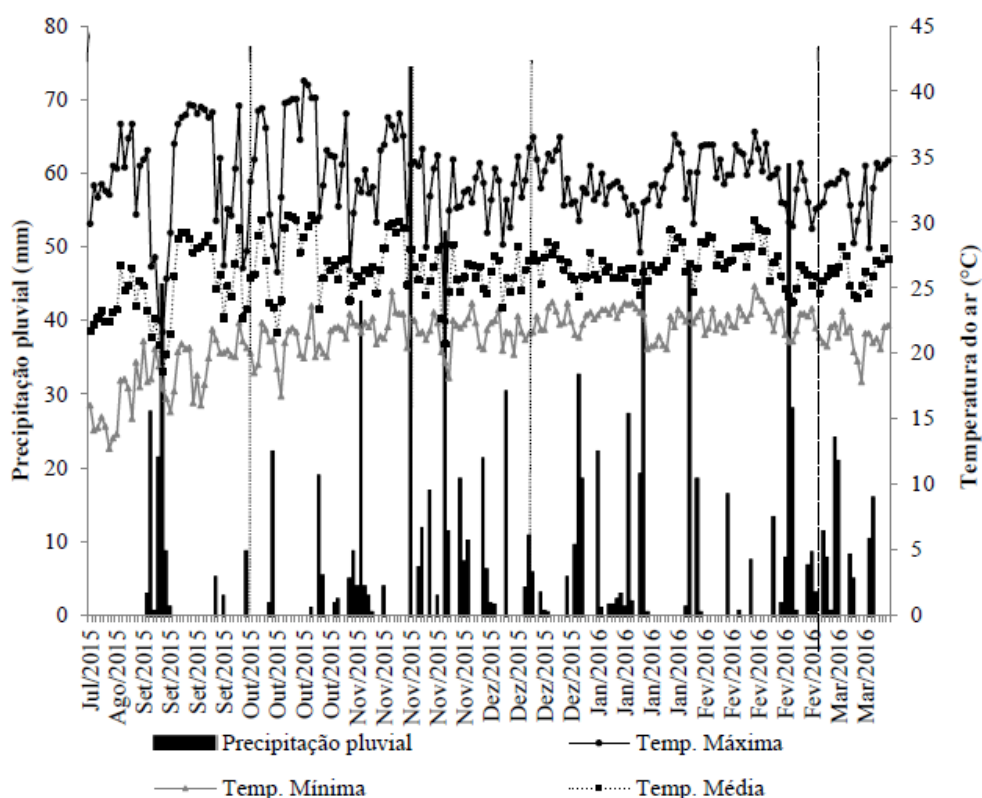
Figura 03 - Mapa de localização do experimento.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

Durante a condução do experimento foram coletados junto à Estação Meteorológica da Fazenda Experimental da UNESP - Ilha Solteira, os dados diários referentes às temperaturas máxima e mínima do ar e a precipitação pluvial, conforme pode ser observado na Figura 04.

Figura 04 - Precipitação pluvial (mm) e temperaturas máxima, média e mínima (°C) no período de coleta de dados.



Fonte: Adaptação do Canal Clima da UNESP.

3.2 Histórico da área, implantação, coleta e metodologia de determinação dos atributos pesquisados

A área experimental foi aberta em 1976 e até o ano de 2007 foi cultivada com soja, milho e adubo verde. Em 10/10/2008 foi realizada implantação do *Eucalyptus camaldulensis* com espaçamento de 3,0 m x 1,8 m em um talhão de 3,5 ha (Figura 05). No plantio e condução do eucalipto não foram realizadas adubações, somente os resíduos das culturas anteriores.

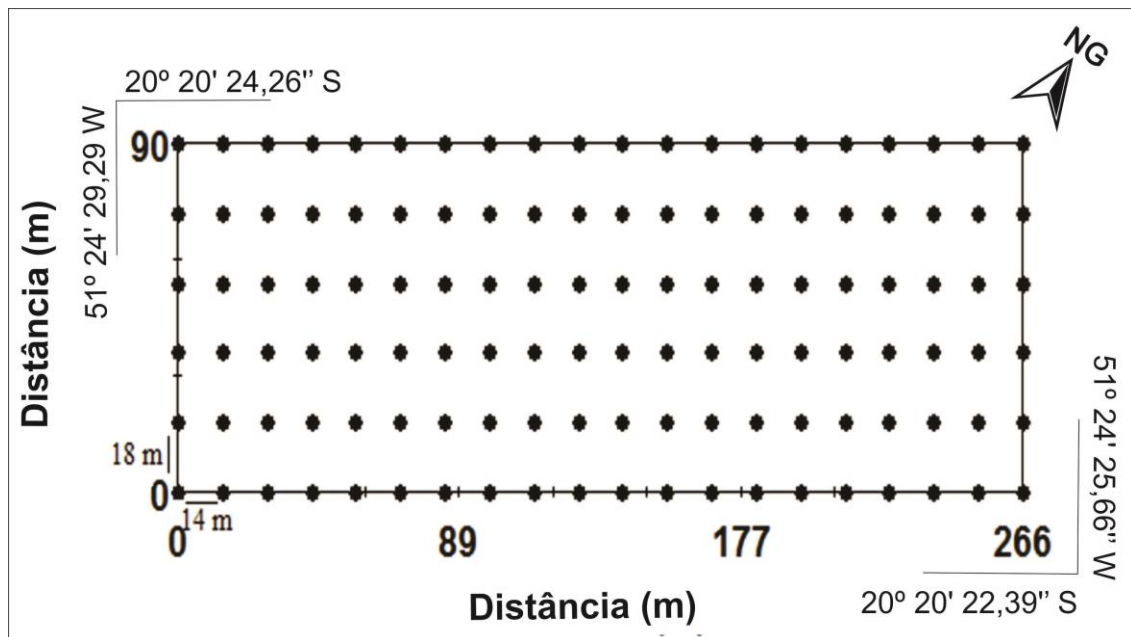
Figura 05 - Área experimental composta de *Eucalyptus camaldulensis*.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

As coletas de dados para a pesquisa foram realizadas no mês de agosto de 2015, com o *Eucalyptus camaldulensis* com 7 anos de idade, foi criada uma malha composta de 120 pontos, constituída de seis transeções paralelas (sentido N-S), com 20 pontos amostrais cada, espaçadas em 14 m entre plantas e 18 m entre linhas, deixando uma bordadura de 10 m (Figura 06).

Figura 06 - Croqui da malha amostral com 120 pontos



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Foram definidas três Composições Amostrais, sendo Composição Amostral de um Único Dado (CA1), Composição Amostral com Média de Cinco Dados (CA5) e Composição Amostral com Média de Dez Dados (CA10), onde respectivamente, realizou-se 1 amostra simples em cada ponto amostral; 5 amostras simples para formar uma amostra composta em cada ponto amostral e 10 amostras simples para formar uma amostra composta em cada ponto amostral.

As coletas dos atributos do Eucalipto foram realizadas nas árvores que representavam cada ponto amostral e as coletas para as composições amostrais de amostras compostas foram realizadas nas 10 árvores vizinhas mais próximas. As propriedades dendrométricas do eucalipto: Circunferência à altura do peito (CAP) onde foi medida com uma trena, a 1,30 m do solo; a altura da árvore (ALT) utilizando um hipsômetro, conforme LIMA et al. (2010) e a partir da CAP e da ALT foi calculado o volume médio anual de madeira com a casca (VOL).

$$VOL = 1,052696 \cdot 10^{-3} \cdot (CAP^2) \cdot ALT \dots\dots\dots(03)$$

onde: CAP é o circunferência a altura do peito (cm); ALT é a altura da árvore (m); $1,052696 \cdot 10^{-3}$ foi a constante dada pelo quociente $[(1852 \cdot 0,5 \cdot 1/7)/(4 \cdot \pi \cdot 10^4)]$, onde: 1852 representa uma densidade populacional de árvores/há, já que o espaçamento entre plantas é de 3,00 m x 1,80 m ($5,40 \text{ m}^2$); 0,5 é o fator de forma do *Eucalyptus camaldulensis*.

Foram realizadas no total 1200 coletas de solo e planta, onde para os atributos químicos do solo as amostras compostas foram formadas através de amostras simples, já para atributos físicos do solo e da planta, realizou-se todas as 1200 análises e foi calculada média para as Composições Amostrais de com Média de Cinco e de Dez Dados (CA5) e (CA10)

Os atributos do solo foram coletados no entorno da árvore representante do ponto amostral, na profundidade de 0,00-0,20 m sendo eles, resistência à penetração (RP), umidade gravimétrica (UG), densidade do solo (DS), densidade da partícula (DP), porosidade total (PT), potencial hidrogeniônico em CaCl_2 (pH), teor de matéria orgânica (MO) e estoque de carbono (EC).

A etapa laboratorial foi realizada nos Laboratórios de Física do Solo e de Fertilidade do Solo da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (SP) / UNESP. O pH e a MO (g dm^{-3}) foram obtidos conforme RAIJ et al. (2001), EMBRAPA (2011) e LIMA et al. (2010). Com a CO e a DS calculou-se o EC (t ha^{-1}).

Para RP (MPa) utilizou-se um penetrômetro modelo Falker (penetroLOG). As amostras deformadas do solo para determinação da UG (kg kg^{-1}) foram coletadas no mesmo momento que foi efetuada a resistência do solo à penetração, com auxílio de uma enxada. No laboratório as amostras foram pesadas e depois transferidas para secagem em estufa a 105°C , por 24 horas e determinada pela equação (EMBRAPA, 2011):

$$\text{UG} = (\text{PU} - \text{PS}) / \text{PS} \dots\dots\dots(04)$$

onde: PU = peso úmido e PS = peso seco

Para DS (kg dm^{-3}) realizou-se a coleta das amostras de solo com estrutura indeformada em anel volumétrico a partir equação:

$$\text{DS} = a / b \dots\dots\dots(05)$$

onde: a = massa da amostra seca a 105 °C (g), b = volume do anel (cm³)

A DP foi mensurada pelo método do balão volumétrico, foi determinado o volume de álcool necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico de 50 mL, contendo solo seco em estufa e depois usou - se a equação apresentada pela EMBRAPA (2011):

$$DP = \text{Peso seco} / (50 - \text{volume de álcool gasto}) \dots\dots\dots(06)$$

Dessa forma, a PT foi calculada conforme a Equação (07) apresentada pela EMBRAPA (2013):

$$PT = [1 - (DS / DP)] \dots\dots\dots(07)$$

onde: PT é a porosidade total (m³ m⁻³), DS e DP são respectivamente as densidades do solo e da partícula (kg dm⁻³).

3.3 Análise estatística e geoestatística dos atributos pesquisados

A análise estatística foi efetuada com o SAS (SCHLOTZHAVER; LITTELL, 1997) e planilha excel, seguindo os procedimentos de Corrêa et al. (2015). Foi efetuada a análise descritiva dos atributos, calculando-se a média, a mediana, os valores mínimos e máximos, o desvio padrão, o coeficiente de variação, a curtose, a assimetria, e a análise da distribuição de frequência pelo teste de Shapiro e Wilk (1965).

Foi montada a matriz de correlação, visando efetuar as regressões lineares para as combinações, duas a duas, entre todos os atributos estudados (solo e planta) para cada tratamento. O objetivo foi estudar a correlação linear entre eles, na tentativa de selecionar aqueles de elevada correlação, e que provavelmente poderiam apresentar semivariograma cruzado e, portanto, co-krigagem. Foram efetuadas as regressões lineares múltiplas entre as variáveis independentes (solo) e as dependentes (planta) objetivando selecionar aquelas que, nos devidos casos, proporcionariam as melhores relações entre causa e efeito, por intermédio do excel.

Para cada atributo foi analisada a dependência espacial pelo cálculo do semivariograma, com bases nos pressupostos de estacionariedade da hipótese

intrínseca, usando o pacote Gama Design Software (GS+, 2004), seguindo os procedimentos de Lima et al. (2010) e Corrêa et al. (2015).

Foram ajustados semivariogramas simples a todos os atributos estudados da planta e em seguida ajustaram-se semivariogramas cruzados com objetivo de definir os pares de melhor representatividade, sendo assim o atributo tido como variável secundária que apresenta-se melhor correlação espacial explicativa do atributo tido como variável primária.

Os ajustes dos semivariogramas simples e cruzados, em função de seus modelos, foram efetuados pela seleção inicial de: a) o maior coeficiente de determinação (r^2); b) a menor soma dos quadrados dos desvios (SQD), e c) o maior avaliador do grau da dependência espacial (ADE). A decisão final do modelo que representou o ajuste foi realizada pela validação cruzada, assim como para a definição do tamanho da vizinhança que proporcionou a melhor malha de krigagem e/ou co-krigagem. Para cada atributo, foram estimados o efeito pepita (Co), o alcance (Ao) e o patamar (Co + C).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto à análise descritiva das propriedades dendrométricas do eucalipto e atributos do solo estudados (Tabela 1). Em relação as médias encontradas para VOL, é possível observar que não houve grande variação entre os três Composições Amostrais, as médias variaram entre 33,95 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (VOL2) e 35,61 (VOL1), ficando assim bem próximas da média nacional que de acordo com IBA, (2017), visto que o Brasil em 2016 produziu em média 35,7 m³ h⁻¹ a ao ano de madeira proveniente dos plantios de eucalipto, liderando o ranking mundial de produtividade florestal.

As médias de CAP também foram bem próximas para todas as Composições Amostrais (CAs), variaram entre 40,2 cm (CAP2) e 41,3 cm (CAP1), e a ALT também variou pouco entre as CAs, ficando entre 17,4 m (ALT2 e ALT3) e 17,6 m (ALT1), médias essas inferiores às encontradas por Lima et al. (2010), o qual encontrou médias de 77,97 cm (CAP) e 23,25 m (ALT), em um povoamento de *Eucalyptus camaldulensis* em um LATOSSOLO VERMELHO distrófico, entretanto o espaçamento adotado por Lima et al. (2010) foi de 4 x 4 e as árvores tinham mais

idade também, o que pode ter contribuído para a obtenção de maiores valores de CAP e H. É importante ressaltar também que os menores valores de CAP e H podem ter ocorrido devido a estagnação das plantas de eucalipto aos 7 anos, mostrando assim a importância da realização de desbastes para estimular o desenvolvimento da cultura.

Classificando a RP de acordo com a Arshad et al. (1996): extremamente baixa: $RP < 0,01$ MPa; muito baixa: $0,01 \leq RP < 0,1$ MPa; baixa: $0,1 \leq RP < 1,0$ MPa; moderada: $1,0 \leq RP < 2,0$ MPa; alta: $2,0 \leq RP < 4,0$ MPa; muito alta: $4,0 \leq RP < 8,0$ MPa; e extremamente alta: $RP > 8,0$ MPa. Para as três Composições amostrais, a RP encontra-se alta, uma vez que as médias variaram cerca de 9,5%, entre 2,493 MPa (RP1) e 2,750 MPa (RP3). Já em relação a umidade a UG, as médias foram muito semelhantes variando apenas entre $0,136 \text{ kg kg}^{-1}$ (UG1 e UG2) e $0,137 \text{ kg kg}^{-1}$ (UG3), e essa baixa umidade de solo contribuiu para que a RP estivesse elevada.

As médias da DS variaram entre $1,390 \text{ kg dm}^{-3}$ (DS3) e $1,406 \text{ kg dm}^{-3}$ (DS1) estando assim bem próximas para todas as CAs, e segundo Montanari et al. (2010) trabalhando em um LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico em uma malha de 117 pontos amostrais, que afirma que este tipo de solo em condições naturais e não compactado apresenta uma DS de aproximadamente $0,98$ e $1,13 \text{ kg dm}^{-3}$ logo a densidade de $1,40 \text{ kg dm}^{-3}$, permite afirmar que as médias de DS verificadas encontram-se elevadas podendo causar compactação ou mesmo já estar compactado.

A DP variou entre $2,727 \text{ kg dm}^{-3}$ (DP1) e $2,761 \text{ kg dm}^{-3}$ (DP2), apresentando assim pouca variação e segundo Santana (2009), estão dentro dos valores normalmente encontrados em média, entre os limites $2,30$ e $2,90 \text{ kg dm}^{-3}$, e para solos ricos em minerais primários como o quartzo adota-se o valor médio de $2,65 \text{ kg dm}^{-3}$.

As médias da PT apresentaram também pouca variação entre as CAs, com valores entre $0,484 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (PT1) e $0,496 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (PT2 e PT3), encontrando-se dentro dos valores normais para solos argilosos que é entre 40 e 60% de acordo com Santana (2009).

Tabela 1 - Análise descritiva inicial de propriedades dendrométricas de um povoamento de *Eucalyptus camaldulensis* e de atributos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria, MS.

Medidas estatísticas descritivas										
Atributos ^(a)									Probabilidade do teste ^(b)	
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficientes			Pr<w	DF
			Máximo	Mínimo		Variação (%)	Curtose	Assimetria		
VOL1(m³/ha.ano)	35,61	33,91	84,89	5,15	20,35	57,2	-0,764	0,475	1x10 ⁻⁴	IN
VOL2(m³/ha.ano)	33,95	33,26	58,27	17,11	9,20	27,1	0,004	0,548	0,008	ñN
VOL3(m³/ha.ano)	34,67	33,60	55,32	21,92	6,98	20,1	0,251	0,723	0,001	ñN
CAP1 (cm)	41,3	41,8	61,7	22,0	9,8	23,8	-0,844	-0,016	0,060	NO
CAP2 (cm)	40,2	40,0	50,8	31,5	4,1	10,1	-0,016	0,340	0,281	NO
CAP3 (cm)	40,6	40,4	50,6	34,2	3,1	7,7	0,105	0,490	0,056	NO
ALT1 (m)	17,6	18,1	24,1	10,1	3,2	18,0	-0,621	-0,219	0,164	NO
ALT2(m)	17,4	17,3	21,1	14,0	1,6	9,1	-0,681	0,158	0,171	NO
ALT3(m)	17,4	17,4	19,6	15,3	1,1	6,2	-0,807	0,061	0,071	NO
Atributos do solo										
RP1 (MPa)	2,493	2,432	5,401	0,106	0,961	38,6	0,198	0,384	0,381	NO
RP2 (MPa)	2,720	2,630	5,010	1,118	0,777	28,6	0,243	0,637	0,006	ñN
RP3 (MPa)	2,750	2,752	4,644	1,507	0,709	27,8	-0,459	0,366	0,017	ñN
UG1 (kg kg ⁻¹)	0,136	0,136	0,162	0,104	0,011	7,9	0,169	-0,164	0,758	NO
UG2 (kg kg ⁻¹)	0,136	0,136	0,156	0,119	0,007	5,4	-0,549	0,194	0,142	NO
UG3 (kg kg ⁻¹)	0,137	0,137	0,156	0,120	0,007	5,2	0,252	0,340	0,182	NO
DS1 (kg dm ⁻³)	1,406	1,398	1,609	1,223	0,088	6,3	-0,724	0,276	0,031	TN
DS2 (kg dm ⁻³)	1,391	1,388	1,530	1,272	0,052	3,7	0,039	0,370	0,261	NO
DS3 (kg dm ⁻³)	1,390	1,387	1,524	1,279	0,041	3,0	0,728	0,253	0,423	NO
DP1 (kg dm ⁻³)	2,727	2,721	2,953	2,593	0,057	2,1	1,508	0,706	0,011	ñN
DP2 (kg dm ⁻³)	2,761	2,758	2,834	2,686	0,036	1,3	-0,706	0,100	0,063	NO
DP3 (kg dm ⁻³)	2,758	2,755	2,927	2,607	0,048	1,7	2,902	0,821	1x10 ⁻⁴	IN
PT1 (m³ m ⁻³)	0,484	0,489	0,552	0,393	0,033	6,9	-0,481	-0,271	0,255	NO
PT2 (m³ m ⁻³)	0,496	0,498	0,554	0,448	0,021	4,1	-0,272	-0,034	0,888	NO
PT3 (m³ m ⁻³)	0,496	0,494	0,539	0,441	0,017	3,4	0,796	-0,155	0,274	NO
pH1	4,2	4,2	4,7	4,0	0,2	3,5	1,928	1,434	1x10 ⁻⁴	IN
pH2	4,1	4,1	4,5	4,0	0,2	2,9	1,782	1,247	1x10 ⁻⁴	IN
pH3	4,2	4,2	4,5	4,0	0,1	2,3	1,221	0,751	1x10 ⁻⁴	IN
MO1 (g dm ⁻³)	18,2	18,0	22,0	15,0	1,6	8,7	0,253	0,722	1x10 ⁻⁴	IN
MO2 (g dm ⁻³)	17,7	17,5	23,0	14,0	1,9	10,6	0,092	0,529	3x10 ⁻⁴	IN
MO3 (g dm ⁻³)	16,9	17,0	21,0	15,0	1,4	8,1	1,052	1,088	1x10 ⁻⁴	IN
EC1 (t ha ⁻¹)	29,67	29,29	38,00	22,35	3,26	11,0	-0,072	0,385	0,194	NO
EC2 (t ha ⁻¹)	28,65	28,20	36,55	22,25	3,14	11,0	-0,195	0,374	0,144	NO
EC3 (t ha ⁻¹)	27,50	27,05	35,96	22,34	2,6	9,5	1,026	0,967	1x10 ⁻⁴	IN

^(a) VOL, CAP, ALT, RP, UG, DS, DP, PT, pH, MO, EC são respectivamente, Volume de Madeira, Circunferência a Altura do Peito, Altura, Resistência à Penetração, Umidade Gravimétrica, Densidade do Solo, Densidade da Partícula, Porosidade Total, Potencial Hidrogeniônico, Matéria Orgânica e Estoque de Carbono coletados nas camadas do solo de 0,00-0,20m. (1) Composição Amostral de um Único Dado, (2) Composição Amostral com Média de Cinco Dados e (3) Composição Amostral com Média de Dez Dados ^(b) DF = distribuição de frequência, sendo NO, ñN e IN, respectivamente do tipo normal, não normal e indeterminado.

As médias de pH também apresentaram uma baixa variação entre os CA, com valores entre 4,1 (pH2) e 4,2 (pH1 e pH3), e segundo Bellote e Neves (2001) que constataram para florestas plantadas valores de pH inferiores a 5,0, as quantidades de alumínio presentes no solo se encontram em quantidades elevadas, podendo causar toxidez às árvores e também interferir na absorção de nutrientes minerais essenciais ao crescimento.

Já as médias de MO variaram cerca de 7,5%, com valores variando entre 16,9 g dm⁻³ (MO3) e 18,2 g dm⁻³ (MO1), indicando de acordo com Raij et al. (1997) baixos teores de MO. Os valores médios de EC variaram entre 27,05 t ha⁻¹ (EC3) e 29,67 t ha⁻¹ (EC1), valores estes abaixo dos encontrados por Baldotto et al. (2015) EC de cerca de 37,8 t ha⁻¹ em um sistema de integração com Eucalipto.

Comparou-se o coeficiente de variação (CV), baseado em Pimentel-Gomes e Garcia (2002) que dividiu o mesmo em quatro classes, baixo (CV ≤ 10%), médio (10% < CV ≤ 20%), alto (20 % < CV ≤ 30%), e muito alto (CV > 30%). Pode-se notar, assim, que o CV do VOL da Composição Amostral de um Único Dado (CA1) foi muito alto (57,2%), já da Composição Amostral com Média de Cinco Dados (CA5) e da Composição Amostral com Média de Dez Dados (CA10) apresentaram-se alto (27,1 e 20,1%, respectivamente). Assim como a amplitude entre os valores máximo e mínimo que foi maior em VOL1 (5,15 e 84,89 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) quando comparado à VOL2 (17,11 e 58,27 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) e VOL3 (21,92 e 55,32 m³ ha⁻¹ ano⁻¹). Para CAP, CA1 apresentou CV alto (23,8%), CA5 médio (10,1%) e CA10 baixo (7,7%) e a amplitude entre os valores máximo e mínimo também foram maiores em CA1 (22,0 e 61,7). Também para ALT, onde ALT1 apresentou CV médio (18,0%), ALT2 (9,1%) e ALT3 (6,2%) apresentaram CV baixo e amplitude dos valores máximo e mínimo foi maior em ALT1 (10,1 e 24,1). Nóia et al. (2012) afirmaram que o CV indica a variabilidade dos dados em relação a média, desta forma um CV menor indica que o conjunto de dados é mais homogêneo, logo pode se afirmar que para os atributos de planta um maior número de subamostras reduz o CV, tornando os dados mais homogêneos.

Para os atributos físicos do solo, resistência à penetração (RP), umidade gravimétrica (UG), densidade do solo (DS), densidade da partícula (DP) e porosidade total (PT), houve diferença no CV apenas para RP, sendo que RP1 apresentou CV muito alto (38,6%) e RP2 (28,6%) e RP3 (27,8%) apresentaram CV

alto, os demais atributos apresentaram CV baixo (variando entre 1,3 e 7,9) (Tabela 1) independentemente do número de subamostras utilizadas, corroborando assim com Molin et al. (2015) que afirmaram que os atributos físicos do solo, apresentaram baixo risco de contaminação de amostra em função do local amostrado, portanto necessitam de menos subamostras para que atinjam o mesmo nível de certeza da amostragem.

Quanto ao potencial hidrogênionico (pH) e a matéria orgânica (MO), também apresentaram um CV baixo (entre 2,3 e 10,6) independente do número de subamostras retiradas, como encontrado por Molin et al. (2015), que relataram que a matéria orgânica é um atributo que apresenta pouca variabilidade a curtas distâncias, sendo assim o número de subamostras não afeta tanto a representatividade da amostra, e por Caon (2012) que também demonstraram que o pH é um dos atributos que apresenta baixo CV independente da densidade amostral.

Quanto a matriz de correlação linear entre alguns atributos das propriedades dendrométricas do eucalipto (VOL, CAP e ALT) e os atributos do solo (DS, DP, PT, pH, MO, EC, UG e RP) para a CA1. Os atributos que apresentaram correlação direta, com os respectivos valores de coeficiente de correlação na CA1, foram: VOL1 x PT1 (0,23*) (tabela 2), resultado semelhante foi verificado por Bognola et al. (2010), que constataram que a porosidade influenciou positivamente no volume de madeira, confirmando seu efeito benéfico no crescimento das árvores.

Tabela 2 - Matriz de correlação entre atributos do *Eucalyptus camaldulensis* e de atributos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria-MS, da Composição amostral de um único dado.

Atributos ^(a)	Coeficiente de Correlação ^(b)									
	VOL1	CAP1	ALT1	DS1	DP1	PT1	pH1	MO1	EC1	RP1
DS1	-0,23*	-0,17	-0,15	-	-	-	-	-	-	-
DP1	-0,02	-0,01	0,02	0,06	-	-	-	-	-	-
PT1	0,23*	0,16	0,16	-0,95**	0,26**	-	-	-	-	-
pH1	-0,11	-0,10	-0,15	0,13	-0,37**	-0,24**	-	-	-	-
MO1	-0,04	-0,03	-0,05	0,05	-0,35**	-0,16	0,64**	-	-	-
EC1	-0,20*	-0,15	-0,16	0,58**	-0,25**	-0,64**	0,61**	0,81**	-	-
RP1	-0,06	0,18	0,02	-0,04	-0,02	0,03	-0,07	0,02	-0,01	-
UG1	-0,07	0,16	0,01	-0,03	-0,05	0,01	-0,06	-0,01	-0,03	-0,96**

(a) VOL, CAP, ALT, RP, UG, DS, DP, PT, pH, MO e EC são respectivamente, Volume de Madeira, Circunferência a Altura do Peito, Altura, Resistência à Penetração, Umidade Gravimétrica, Densidade do Solo, Densidade da Partícula, Porosidade Total, Potencial Hidrogeniônico, Matéria Orgânica e Estoque de Carbono coletados nas camadas do solo de 0,00-0,20; ^(b) ** **significativo a 1%, * significativo a 5%.

O par VOL1 x DS1 (-0,23*) apresentou correlação indireta e significativa baixa, corroborando com o encontrado por Carvalho et al. (2012), que trabalhando na mesma área de estudo com 120 pontos amostrais, constatarem um coeficiente de correlação de aproximadamente (-0,19). Como o solo encontra-se com uma DS alta, cerca de 1,406 kg dm⁻³ (Tabela 1), sabendo que a DS é um indicador de compactação, Montanari et al. (2010) verificaram que um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico em uma malha de 117 pontos amostrais em condições naturais e não compactado apresenta uma DS de, aproximadamente, entre 0,98 e 1,13 kg dm⁻³. Sendo assim, na densidade de 1,40 kg dm⁻³ o solo encontra-se compactado e a compactação, segundo Jesus (2015) é um dos principais fatores que reduzem a produtividade do eucalipto. O par VOL1 x EC1 (-0,20*) (Tabela 2) apresentou também correlação indireta, semelhante ao constatado por Lima et al. (2010), que observaram uma correlação negativa entre o volume de madeira e a matéria orgânica do solo, o que de forma indireta também afeta o estoque de carbono do solo. Os autores explicaram que o fato pode estar relacionado a algum outro atributo na área estudada que pudesse estar atuando indiretamente nesta correlação.

Na Tabela 3 está apresentada a matriz de correlação linear entre alguns atributos das propriedades dendrométricas do eucalipto (VOL, CAP e ALT) e atributos do solo (DS, DP, PT, pH, MO, EC, UG e RP) para a CA5.

Tabela 3 - Matriz de correlação entre atributos do *Eucalyptus camaldulensis* e de atributos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria-MS, da Composição amostral com média de cinco dados.

Atributos ^(a)	Coeficiente de Correlação ^(b)									
	VOL2	CAP2	ALT2	DS2	DP2	PT2	pH2	MO2	EC2	RP2
DS2	-0,08	-0,08	-0,06	-	-	-	-	-	-	-
DP2	-0,08	-0,13	-0,07	-0,03	-	-	-	-	-	-
PT2	0,04	0,02	0,03	-0,94**	0,35**	-	-	-	-	-
pH2	-0,15	-0,09	-0,27**	0,10	-0,13	-0,15	-	-	-	-
MO2	0,07	0,08	-0,07	-0,13	-0,07	0,09	0,54**	-	-	-
EC2	0,06	0,07	-0,06	0,17	-0,06	-0,19*	0,55**	0,92**	-	-
RP2	-0,09	-0,11	0,00	0,15	-0,19*	-0,21*	-0,07	-0,43**	-0,39**	-
UG2	0,07	0,09	-0,02	0,08	0,16	0,02	0,20*	0,40**	0,40**	-0,58**

(a) VOL, CAP, ALT, RP, UG, DS, DP, PT, pH, MO e EC são respectivamente, Volume de Madeira, Circunferência a Altura do Peito, Altura, Resistência à Penetração, Umidade Gravimétrica, Densidade do Solo, Densidade da Partícula, Porosidade Total, Potencial Hidrogeniônico, Matéria Orgânica e Estoque de Carbono coletados nas camadas do solo de 0,00-0,20; **significativo a 1%, * significativo a 5%.

Na interação entre os atributos solo-planta houve correlação significativa apenas entre o par ALT2 x pH2 (-0,27**), que apresentou correlação indireta,

mesmo com valores de pH baixos (RAIJ, 1991) como os encontrados na presente pesquisa, muitos autores afirmaram que o eucalipto é uma cultura tolerante a acidez do solo (LIMA et al., 2010). Portanto, o pH não afetou a produtividade da espécie, que corresponde ao volume de madeira.

Quanto à matriz de correlação linear entre alguns atributos para a CA10 (Tabela 4). Aqueles que apresentaram correlação direta, com os respectivos valores de coeficiente de correlação na CA10, foram: VOL3 x EC3 (0,21*), CAP3 x EC3 (0,25**) e CAP3 x MO3 (0,19*). Já os que apresentaram correlação indireta foram: VOL3 x RP3 (-0,33**), CAP3 x RP3 (-0,39**), ALT3 x pH3 (-0,25).

Tabela 4 - Matriz de correlação entre alguns atributos do *Eucalyptus camaldulensis* e de atributos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria, MS, da Composição amostral com média de dez dados.

Atributos ^(a)	Coeficiente de Correlação ^(b)									
	VOL3	CAP3	ALT3	DS3	DP3	PT3	pH3	MO3	EC3	RP3
DS3	0,00	0,02	-0,07	-	-	-	-	-	-	-
DP3	-0,02	-0,03	0,04	0,07	-	-	-	-	-	-
PT3	0,00	-0,02	0,09	-0,85**	0,47**	-	-	-	-	-
pH3	-0,11	-0,09	-0,25**	0,18*	0,06	-0,11	-	-	-	-
MO3	0,16	0,19*	-0,14	-0,07	-0,19*	-0,03	0,27**	-	-	-
EC3	0,21*	0,25**	-0,16	0,23*	-0,09	-0,23*	0,41**	0,83**	-	-
RP3	-0,33**	-0,39**	-0,01	0,09	0,30**	0,07	0,18*	-0,34**	-0,28**	-
UG3	0,06	0,12	-0,02	0,14	-0,10	-0,17	0,08	0,20*	0,20*	-0,38**

(a) VOL, CAP, ALT, RP, UG, DS, DP, PT, pH, MO e EC são respectivamente, Volume de Madeira, Circunferência a Altura do Peito, Altura, Resistência à Penetração, Umidade Gravimétrica, Densidade do Solo, Densidade da Partícula, Porosidade Total, Potencial Hidrogeniônico, Matéria Orgânica e Estoque de Carbono coletados nas camadas do solo de 0,00-0,20; (b) ** significativo a 1%, * significativo a 5%.

As correlações diretas entre os pares VOL3 x EC3 (0,21*), CAP3 x EC3 (0,25**) e CAP3 x MO3 (0,19*) indicaram que um incremento de matéria orgânica pode gerar maior estoque de carbono no solo, promovendo a aeração e capacidade de retenção de água, havendo assim um melhor desenvolvimento do eucalipto, tanto em volume de madeira como na circunferência. Vasconcelos et al. (2010) relataram que a conservação ou incorporação da matéria orgânica favorecem tanto o desenvolvimento de planta como as condições de solo, por reduzir a densidade do solo, aumenta os macroporos gerando, assim, maior aeração e drenagem de água. Favorece também a retenção de água no solo e influência positivamente na estrutura do solo, assim como na fertilidade.

As correlações indiretas entre os pares VOL3 x RP3 (-0,33**), CAP3 x RP3 (-0,39**), demonstraram que o aumento na resistência à penetração gera um declínio no volume de madeira, corroborando também com os resultados de Rosa

Filho et al. (2011) que trabalhando com *Eucalyptus urophylla* em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico constataram correlação negativa da resistência à penetração tanto com o volume de madeira como com o perímetro à altura do peito. Para Jesus (2015) um aumento da resistência à penetração pode gerar uma redução na atividade microbiana e principalmente afetará o desenvolvimento de raiz da cultura do eucalipto, fato este que poderá acarretar em perdas de produtividade de madeira, pois com o menor desenvolvimento de raiz haverá também menor absorção de nutrientes pelas plantas.

A equação (08) apontou variação linear inversa ($r = - 0,245^{**}$) para a Composição amostral de um Único Dado (CA1), portanto a variação do VOL1 em questão pode ser explicada por apenas 24,5% da variação dos dados da DS1, de acordo com o constatado por Carvalho et al. (2012), que, apesar de também apresentar correlação baixa, observaram que a variável DS poderia atuar como um indicador de qualidade quando se objetiva o incremento em volume de madeira. A equação (10) apresentou um modelo linear ($r = 0,232^{*}$), sendo assim o VOL1 pode ser explicado por 23,2% da variação dos dados de PT1. Na equação (11) observou-se uma influência linear e inversa ($r = - 0,331^{**}$) também da RP3 sobre o volume de madeira podendo observar que 33,1% da variação do VOL3 pode ser explicada pelo atributo RP3, Rosa Filho et al. (2011), mesmo não encontrando uma correlação significativa, afirmou também que a RP apresentou influência negativa sobre o volume de madeira o que fornece um indicativo de como manejar a área em relação à RP. As equações (09) e (12) apresentaram variação do EC sobre o volume de madeira Para CA1 indicou variação inversa ($r = - 0,199^{*}$), concordando com a correlação (Tabela 2) e direta para a CA10, demonstrando que a variação do EC influenciou positivamente o volume de madeira. Onde na equação (09), observa-se que cerca de 19,9% da variação do VOL1 é explicado pela variação do EC1.

$$\text{VOL1} = 115,0 - 56,52^{**} \cdot \text{DS1} \dots\dots\dots (08)$$

$$\text{VOL1} = 72,435 - 1,241^{*} \cdot \text{EC1} \dots\dots\dots (09)$$

$$\text{VOL1} = -32,593 + 140,88^{*} \cdot \text{PT1} \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{VOL3} = 43,63 - 3,260^{**} \cdot \text{RP3} \dots\dots\dots (11)$$

$$\text{VOL3} = 7,529 \cdot \text{EC3}^{0,455^{*}} \dots\dots\dots (12)$$

Nas Tabelas 5, 6 e 7 estão apresentados os parâmetros dos semivariogramas ajustados para as três composições amostrais. Todos os atributos de planta pesquisados não apresentaram dependência espacial no espaçamento amostral utilizado para a CA1 e CA5, haja visto que todos apresentaram efeito pepita puro. Exceto para a CA10, onde os atributos de planta VOL e CAP apresentaram dependência, assim como o encontrado por Lima et al. (2010), que trabalharam com *Eucalyptus camaldulensis* em uma malha geoestatística com 122 pontos amostrais, numa área de 1,98 ha, e verificaram dependência espacial para as características de planta, volume da madeira e perímetro à altura do peito e ainda constataram que 90,8 % da variação espacial do volume de madeira foi explicada pela dependência dessa mesma característica. Esses resultados foram semelhante ao encontrado no presente estudo onde se observou-se que 85,2 % da variação foi explicada pela dependência espacial. Em relação aos atributos de solo físicos e químicos todos apresentaram dependência espacial, exceto para DS1, PT1 e UG2. De acordo com Dalchiavon et al. (2012), isso significa que o comportamento dessas variáveis regionalizadas não é aleatório e que as distâncias utilizadas na malha geoestatística são suficientes para o estudo da variabilidade espacial destas variáveis.

Os parâmetros de ajuste do semivariograma experimental são apresentados nas tabelas 5, 6 e 7, foram ajustados modelos semivariográficos dos tipos esférico e gaussiano para as características de solo, não houve predominância de nenhum dos modelos, corroborando com o encontrado por Lima et al. (2010) e por Rosa Filho et al. (2011), que verificaram que não há um tipo de ajuste mais frequente ou dominante. Já o avaliador da dependência espacial para os atributos de solo variou entre baixo e muito alto e para os atributos de planta foi baixo.

O alcance, segundo Webster (1985), é uma das ferramentas da geoestatística mais importantes para planejamento e avaliação experimental, auxiliando na definição do planejamento da grade amostral para a agricultura de precisão. Dessa forma, em relação ao alcance, foram encontrados valores de RP variando entre 102,2 m (RP1) e 108,2 m (RP2), superiores ao alcançado por Rosa Filho et. al. (2011) e para UG os valores variaram entre 75,0 m (UG1) e 119,0 m (UG3), semelhante ao alcance encontrado por Lima et al. (2010). Para a DS o alcance variou entre 32,1 m (DS2) e 40,0 m (DS3), ambos inferiores ao encontrado

por Carvalho et al. (2012). Já o alcance da DP variou entre 35,0 m (DP2) e 53,0 m (DP3), O DP2 foi semelhante ao encontrado por Amaro Filho et al. (2007) trabalhando também em um LATOSSOLO VERMELHO, com uma densidade amostral de 100 pontos amostrais em uma área de 1 ha. O alcance da porosidade total ficou entre 50,0 m (PT3) e 60,0 m (PT2), ambos menores que o alcance encontrado por Amaro Filho et al. (2007). Para o pH, o alcance variou entre 34,4 m (pH1) e 43,0 m (pH2), alcances esses menores que os alcances obtidos por Carvalho et al. (2012) e por Lima et al. (2010). Para a MO, o alcance variou entre 35,1 m (MO1) e 58,6 m (MO2), valores estes inferiores aos verificados por Amaro Filho et al. (2007). Para o EC os valores de alcance variaram entre 64,6 m (EC1) e 51,6 (EC1), sendo os valores de EC1 mais próximos aos observdos por Carvalho et al. (2012). Como o alcance serve como indicativo para uma maior ou menor densidade amostral foi possível notar que a partir dos dados obtidos alguns atributos necessitam de um maior número de amostras, como os atributos químicos, enquanto outros atributos precisam de um menor número de amostras, por ter o alcance maior.

Na Tabela 7, pode se observar que a CA10 foi a única capaz de detectar variabilidade espacial para os atributos de planta. Verificando as análises de cokrigagem, baseando a interação solo-planta para as condições do solo estudado, foi possível estimar a distribuição espacial do volume de madeira do *Eucalyptus camaldulensis* a partir dos atributos do solo RP3 e EC3.

Tabela 5: Parâmetros dos semivariogramas simples e cruzados ajustados para alguns atributos das propriedades dendrométricas do *Eucalyptus camaldulensis*, e atributos do solo em Selvíria, MS (CA1).

Atributos ^(a)	Parâmetros										
	Modelo (^b)	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance (A ₀) (m)	r ²	SQR ^(c)	ADE ^(d)		Validação cruzada		
							%	Classe*	a	b	r
<i>γ(h) simples dos atributos do eucalipto</i>											
VOL1	Epp.	418,0	418,0	-	-	-	-	-	-	-	-
CAP1	Epp.	97,00	97,00	-	-	-	-	-	-	-	-
ALT1	Epp.	10,09	10,09	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>γ(h) simples dos atributos físicos e químicos do solo</i>											
RP1	Gau. (114)	4,740.10 ⁻¹	1,032	102,5	0,951	2,530.10 ⁻²	0,541	Média	0,10	0,959	0,570
UG1	Gau. (214)	8,900.10 ⁻⁵	1,250.10 ⁻⁴	75,0	0,746	5,190.10 ⁻¹⁰	0,288	Baixa	0,04	0,286	0,734
DS1	Epp.	6,381.10 ⁻³	6,381.10 ⁻³	-	-	-	-	-	-	-	-
DP1	Esf. (214)	5,300.10 ⁻⁵	9,600.10 ⁻⁴	48,3	0,882	6,527.10 ⁻¹¹	0,448	Média	0,09	0,799	0,327
PT1	Epp.	9,820.10 ⁻⁴	9,820.10 ⁻⁴	-	-	-	-	-	-	-	-
pH1	Esf. (214)	7,737.10 ⁻³	2,118.10 ⁻²	34,4	0,463	2,932.10 ⁻⁵	0,635	Alta	-0,42	1,101	0,504
MO1	Esf. (214)	4,620.10 ⁻¹	2,511	35,1	0,789	1,460.10 ⁻¹	0,816	Muito Alta	-2,69	1,148	0,606
EC1	Esf. (214)	5,034	11,120	64,6	0,893	2,110	0,547		0,04	1,000	0,510

^(a) VOL, CAP, ALT, RP, UG, DS, DP, PT, pH, MO e EC são respectivamente, Volume de Madeira, Circunferência a Altura do Peito, Altura, Resistência à Penetração, Umidade Gravimétrica, Densidade do Solo, Densidade da Partícula, Porosidade Total, Potencial Hidrogeniônico, Matéria Orgânica e Estoque de Carbono coletados nas camadas do solo de 0,00-0,20; (1) Composição Amostral de um Único Dado, ^(b) exp = exponencial, esf = esférico e gau = gaussiano; modelo sucedido por número entre parêntesis, significando o número de pares no primeiro lag; ^(c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ^(d) ADE = avaliador da dependência espacial.

Tabela 6 - Parâmetros dos semivariogramas simples e cruzados ajustados para alguns atributos das propriedades dendrométricas do *Eucalyptus camaldulensis*, e atributos do solo em Selvíria, MS (CA5).

Atributos ^(a)	Parâmetros										
	Modelo (^b)	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance (A ₀) (m)	r ²	SQR(^c)	ADE(^d)		Validação cruzada		
							%	Classe*	a	b	r
γ(h) simples dos atributos do eucalipto											
VOL2	Epp.	1,420.10 ⁻²	1,420.10 ⁻²	-	-	-	-	-	-	-	-
CAP2	Epp.	16,890	16,890	-	-	-	-	-	-	-	-
ALT2	Epp.	2,540	2,540	-	-	-	-	-	-	-	-
γ(h) simples dos atributos físicos e químicos do solo											
RP2	Esf. (114)	7,100.10 ⁻²	6,910.10 ⁻¹	108,2	0,957	1,900.10 ⁻²	0,897	Muito Alta	0,230	0,916	0,740
UG2	Epp.	4,200.10 ⁻⁵	4,200.10 ⁻⁵	-	-	-	-	-	-	-	-
DS2	Esf. (214)	1,489.10 ⁻³	2,324.10 ⁻⁵	32,1	0,571	8,121.10 ⁻⁸	0,359	Baixo	0	1,325	0,300
DP2	Esf. (114)	7,790.10 ⁻⁴	1,262.10 ⁻³	35,0	0,550	2,681.10 ⁻⁸	0,383	Baixo	2,19	0,206	0,055
PT2	Gau. (214)	3,150.10 ⁻⁴	4,150.10 ⁻⁴	60,0	0,513	8,591.10 ⁻⁹	0,241	Baixo	0,04	0,915	0,342
pH2	Esf. (214)	7,925.10 ⁻³	1,442.10 ⁻²	43,0	0,659	5,081.10 ⁻⁶	0,450	Médio	0	1,001	0,430
MO2	Esf. (214)	1,300.10 ⁻¹	3,615	58,6	0,801	1,040	0,964	Muito alto	0,19	0,990	0,769
EC2	Esf. (214)	3,100.10 ⁻¹	10,210	58,7	0,857	6,120	0,970	Muito alto	0	1,00	0,817

^(a)VOL, CAP, ALT, RP, UG, DS, DP, PT, pH, MO e EC são respectivamente, Volume de Madeira, Circunferência a Altura do Peito, Altura, Resistência à Penetração, Umidade Gravimétrica, Densidade do Solo, Densidade da Partícula, Porosidade Total, Potencial Hidrogeniônico, Matéria Orgânica e Estoque de Carbono coletados nas camadas do solo de 0,00-0,20; (2) Composição Amostral com Média de Cinco Dados, (b) epp = efeito pepita puro, esf = esférico e gau = gaussiano; modelo sucedido por número entre parêntesis, significando o número de pares no primeiro lag; (c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos; (d) ADE = avaliador da dependência espacial.

Tabela 7 - Parâmetros dos semivariogramas simples e cruzados ajustados para alguns atributos das propriedades dendrométricas do *Eucalyptus camaldulensis*, e atributos do solo em Selvíria, MS (CA10).

Atributos ^(a)	Parâmetros										
	Modelo	Efeito pepita	Patamar	Alcance	r ²	SQR ^(c)	ADE ^(d)		Validação cruzada		
							^(b)	(C ₀)	(C ₀ + C)	(A ₀) (m)	%
γ(h) simples dos atributos do eucalipto											
VOL3	Gau. (404)	35,88	51,00	90,0	0,852	34,00	0,297	Baixo	-	-	-
CAP3	Gau. (114)	6,990	10,65	110,0	0,781	5,830	0,344	Baixo	-	-	-
ALT3	Epp.	1,153	1,153	-	-	-	-	-	-	-	-
γ(h) simples dos atributos físicos e químicos do solo											
RP3	Esf. (214)	1,000.10 ⁻³	5,870.10 ⁻¹	103,0	0,953	1,260.10 ⁻²	0,998	Muito Alta	0,18	0,934	0,837
UG3	Gau. (214)	3,200.10 ⁻⁵	6,500.10 ⁻⁵	119,0	0,971	3,846.10 ⁻¹¹	0,497	Médio	0,01	0,944	0,529
DS3	Esf. (214)	7,660.10 ⁻⁴	1,456.10 ⁻³	40,0	0,617	5,314.10 ⁻⁸	0,474	Médio	-0,09	0,877	0,324
DP3	Esf. (114)	1,015.10 ⁻³	2,224.10 ⁻³	53,0	0,519	6,056.10 ⁻⁷	0,544	Médio	0,42	0,849	0,377
PT3	Gau. (114)	1,410.10 ⁻⁴	2,770.10 ⁻⁴	50,0	0,863	1,877.10 ⁻⁹	0,491	Médio	0,10	0,797	0,411
pH3	Gau. (214)	4,919.10 ⁻³	9,400.10 ⁻³	40,3	0,835	1,681.10 ⁻⁶	0,477	Médio	-0,33	1,079	0,572
MO3	Gau. (214)	7,690.10 ⁻¹	1,915	43,1	0,884	7,730.10 ⁻²	0,598	Médio	-0,04	1,002	0,646
EC3	Gau. (214)	2,22	7,036	51,6	0,950	6,360.10 ⁻¹	0,684	Alto	0,39	0,987	0,709
γ(h) cruzado entre atributo da planta e solo											
VOL3=f(RP3)	Gau.(404)	-1,000.10 ⁻³	-1,954	91,1	0,812	1,170	0,999	Muito alto	30,43	0,123	0,084
VOL3=f(CAP3)	Gau.(404)	14,302	21,600	90,0	0,859	9,020	0,338	Baixo	30,49	0,121	0,084
VOL3=f(EC3)	Gau.(214)	2,000.10 ⁻¹	3,959	62,2	0,893	1,14	0,949	Muito alto	30,49	0,121	0,084
RP3=f(EC3)	Gau.(214)	-1,000.10 ⁻³	-5,870.10 ⁻¹	76,0	0,900	0,059	0,998	Muito alto	0,20	0,925	0,837
RP3=f(UG3)	Gau.(214)	-3,400.10 ⁻⁴	-3,290.10 ⁻³	84,2	0,892	1,029.10 ⁻⁶	0,897	Muito alto	0,20	0,925	0,837

^(a) VOL, CAP, ALT, RP, UG, DS, DP, PT, pH, MO e EC são respectivamente, Volume de Madeira, Circunferência a Altura do Peito, Altura, Resistência à Penetração, Umidade Gravimétrica, Densidade do Solo, Densidade da Partícula, Porosidade Total, Potencial Hidrogeniônico, Materia Orgânica e Estoque de Carbono coletados nas camadas do solo de 0,00-0,20; (2) Composição Amostral com Média de Dez Dados, ^(b) epp = efeito pepita puro, esf = esférico e gau = gaussiano; modelo sucedido por número entre parêntesis, significando o número de pares no primeiro lag; ^(c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ^(d) ADE = avaliador da dependência espacial.

Na figura 8 são apresentados os mapas de krigagem dos atributos de solo da CA1, onde pode ser visto na figura (g) e (h) que nos nênios 1, 2 e 3 se encontram os maiores valores de RP que correspondem na figura (h) aos menores valores de UG, constatando assim grandezas inversas, ou seja, quando a resistência à penetração aumenta a umidade do solo diminui, corroborando com o encontrado por Assis et al. (2009) que relacionou o teor de água do solo com a sua resistência à penetração, para quatro tipos de solo e quatro condições de umidade e assim observou que os resultados mostraram correlação negativa entre o índice de cone e o teor de água, sendo a função de melhor ajuste a linear decrescente para todos os tipos de solos.

Verifica-se pela análise visual dos mapas da CA5 (Figura 10), que os atributos DS2 e PT2 apresentando uma forte correlação, onde visualmente é possível notar que a distribuição espacial de ambos os atributos são semelhantes, nos nênios 1 e 4 são os que apresentam maiores valores de densidade do solo (Figura 10a), e nos mesmo são encontrados os menores valores de porosidade (Figura 10h), muitos autores já relataram essa relação entre DS e PT, Beutler et al. (2005) relata que quando ocorre compactação do solo ocorre um aumento na relação de massa por unidade de volume, o que consequentemente gera um aumento tanto na densidade, na resistência à penetração de raízes e também da microporosidade, e causando ainda uma redução linear da porosidade total e da macroporosidade.

A análise de cokrigagem indica que o ajuste, $VOL3=f(RP3)$, evidenciou que 81,2% da variabilidade espacial do VOL3 pode ser explicado por meio da variabilidade da RP3. Podendo assim utilizar a RP3 para mapear as zonas de manejo para o volume de eucalipto. Onde pode ser observado que os nênios 1,2 e 3 da Figura 15b, são aqueles onde são encontrados os menores valores de VOL3, e correspondem na Figura 15d aos maiores valores de RP3, mostrando assim que o aumento na resistência à penetração gera um declínio no volume de madeira. Portanto, o atributo físico de resistência a penetração, para a CA10, foi satisfatório para ser utilizado como indicador de qualidade do solo.

Para o ajuste $VOL3=f(EC3)$, foi evidenciado que 89,3% da variabilidade espacial do VOL3 pode ser explicada pela variação do EC3. Apontando neste caso também que este atributo de solo poderia ser utilizado para identificar as zonas de

manejo para VOL3. Assim, pode-se constatar que onde ocorreram os menores valores de EC3, pontos 1,2,3 e 6 (Figura 12d) foram mapeados também os menores valores de VOL3 (Figura 12a). Podendo assim o EC ser utilizado como um indicador de qualidade de solo.

Figura 7 - Semivariogramas simples dos atributos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria-MS da Composição Amostral de um Único Dado (CA1).

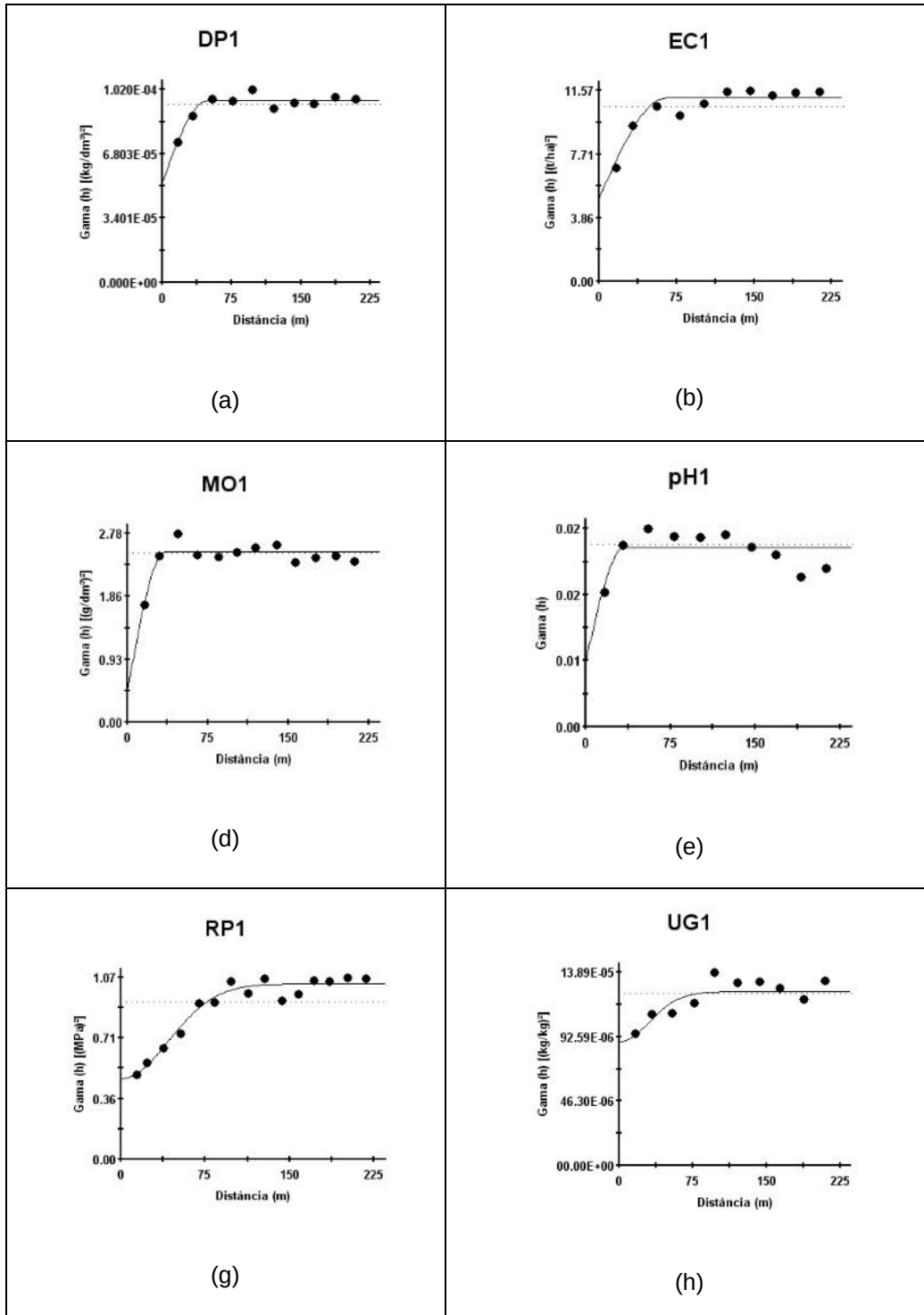


Figura 8 - Mapas de krigagem dos atributos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria-MS da Composição Amostral de um Único Dado (CA1).

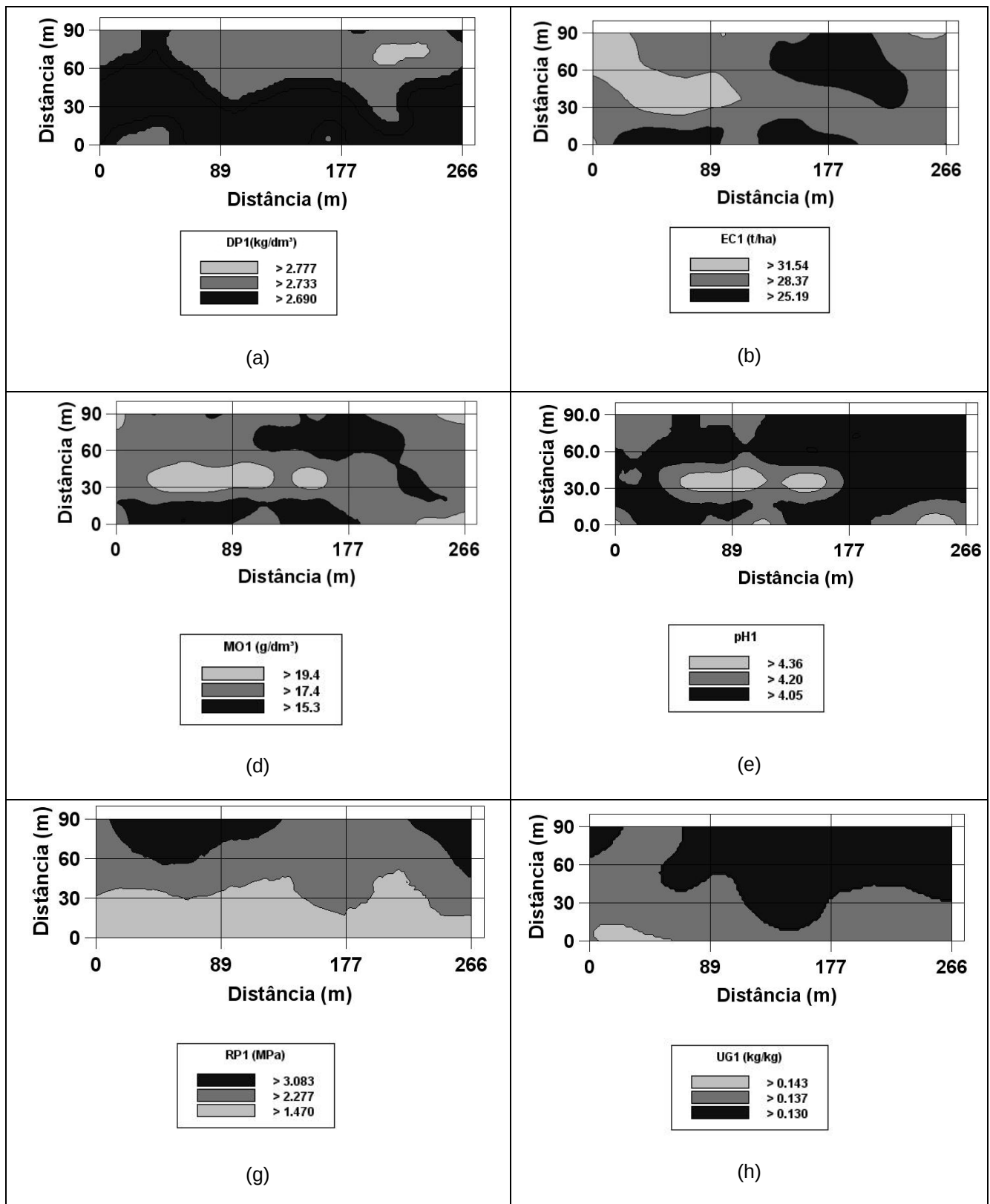


Figura 9 - Semivariogramas simples dos atributos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria-MS da Composição Amostral com Média de Cinco Dados (CA5).

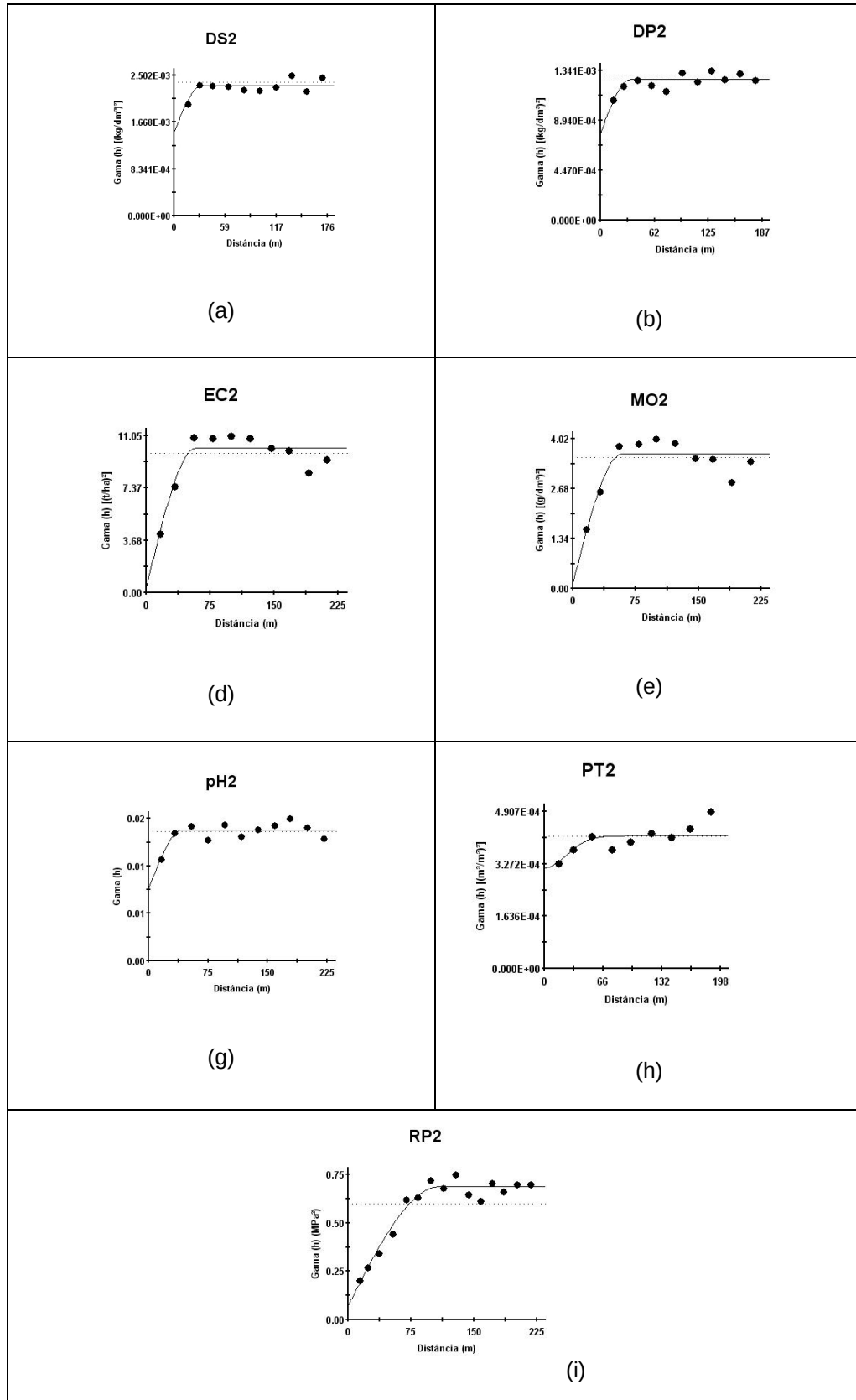


Figura 10 - Mapas de krigagem dos atributos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria-MS da Composição Amostral com Média de Cinco Dados (CA5).

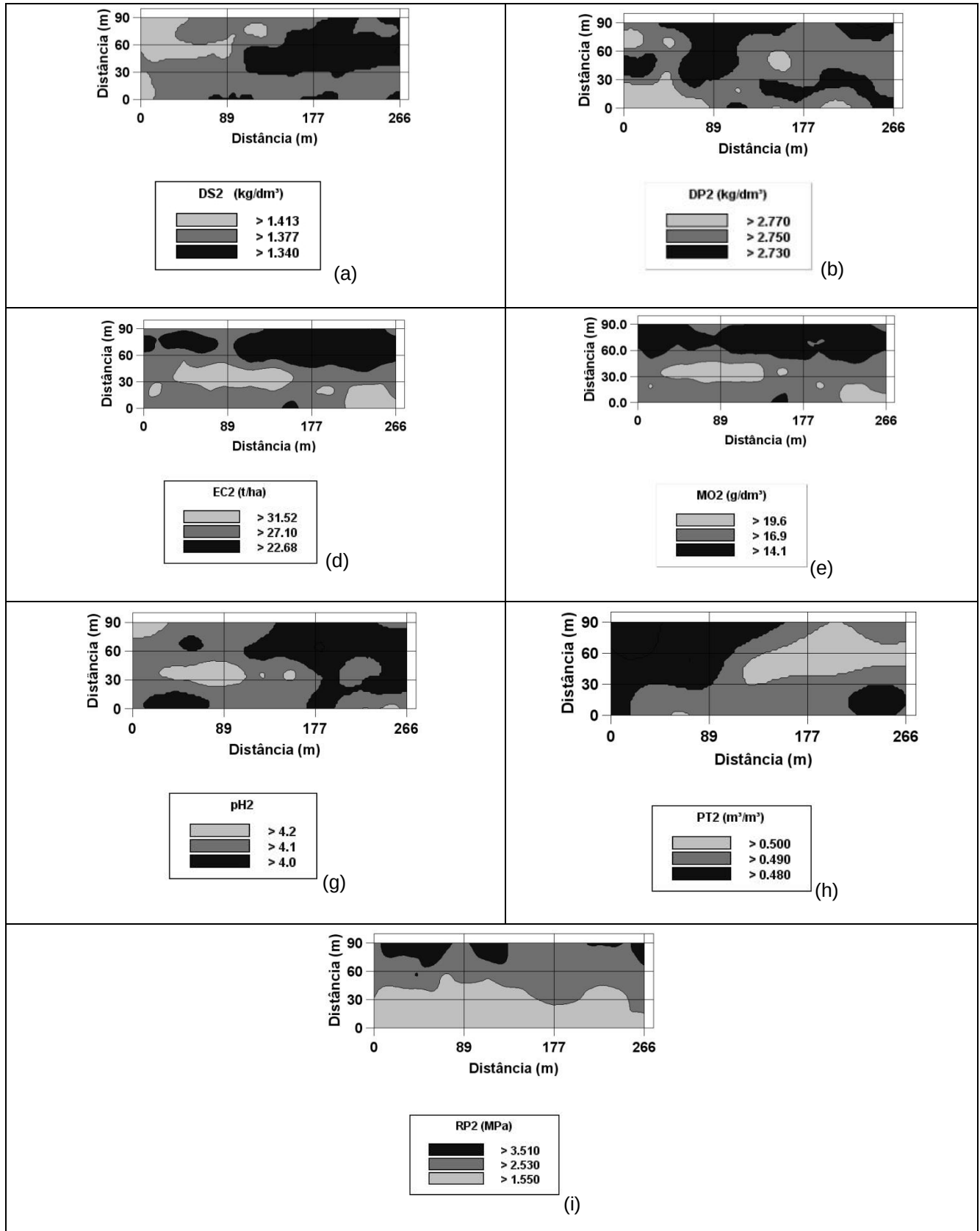


Figura 11 - Semivariogramas simples dos atributos do *Eucalyptus camaldulensis* e de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria-MS da Composição Amostral com Média de Dez Dados (CA10).

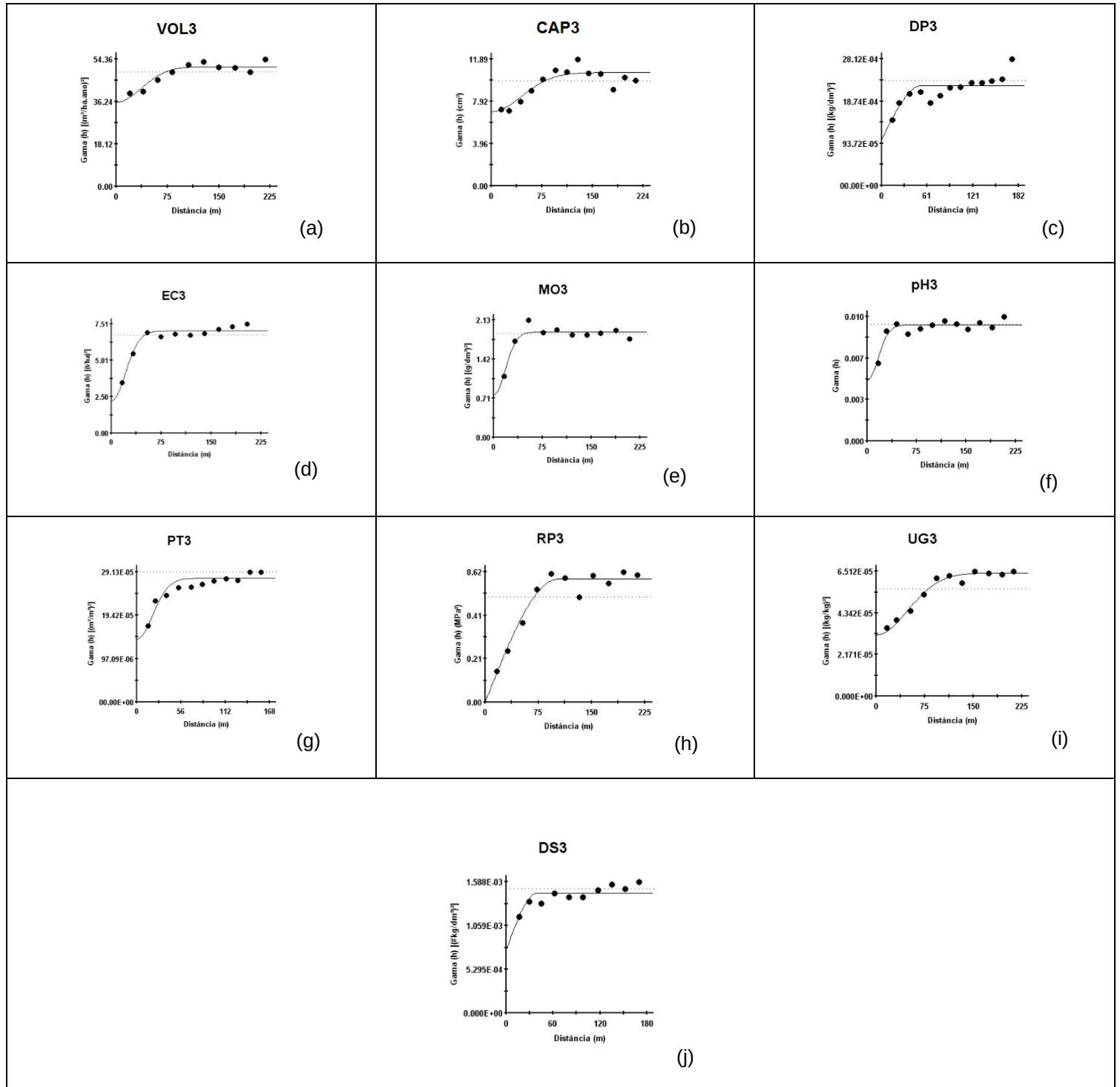


Figura 12 - Mapas de krigagem dos atributos do *Eucalyptus camaldulensis* e de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria-MS da Composição Amostral com Média de Dez Dados (CA10).

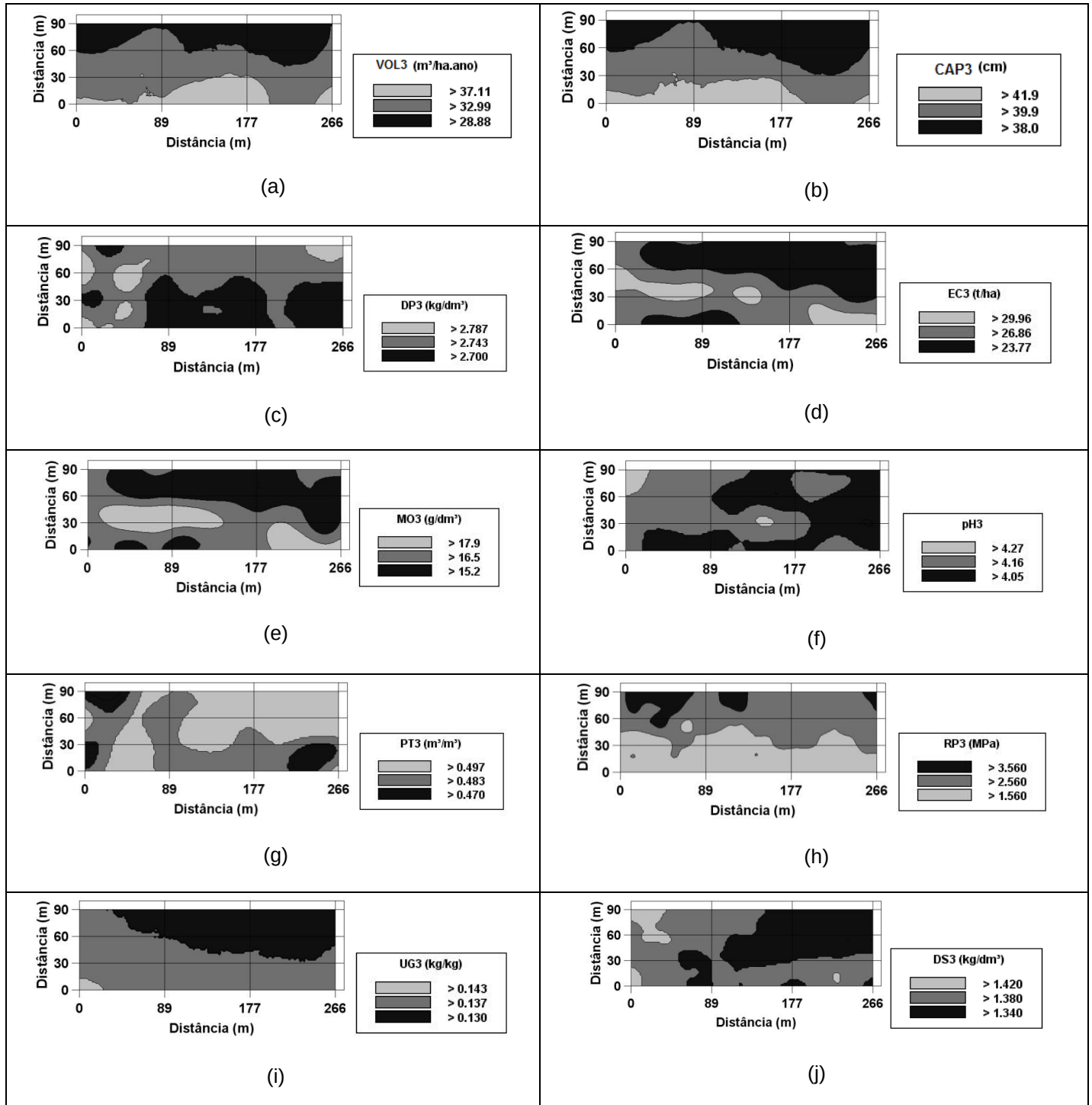


Figura 13 – Semivariogramas cruzados de atributos do *Eucalyptus camaldulensis* e do solo em função de atributos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria-MS da Composição Amostral com Média de Dez Dados (CA10).

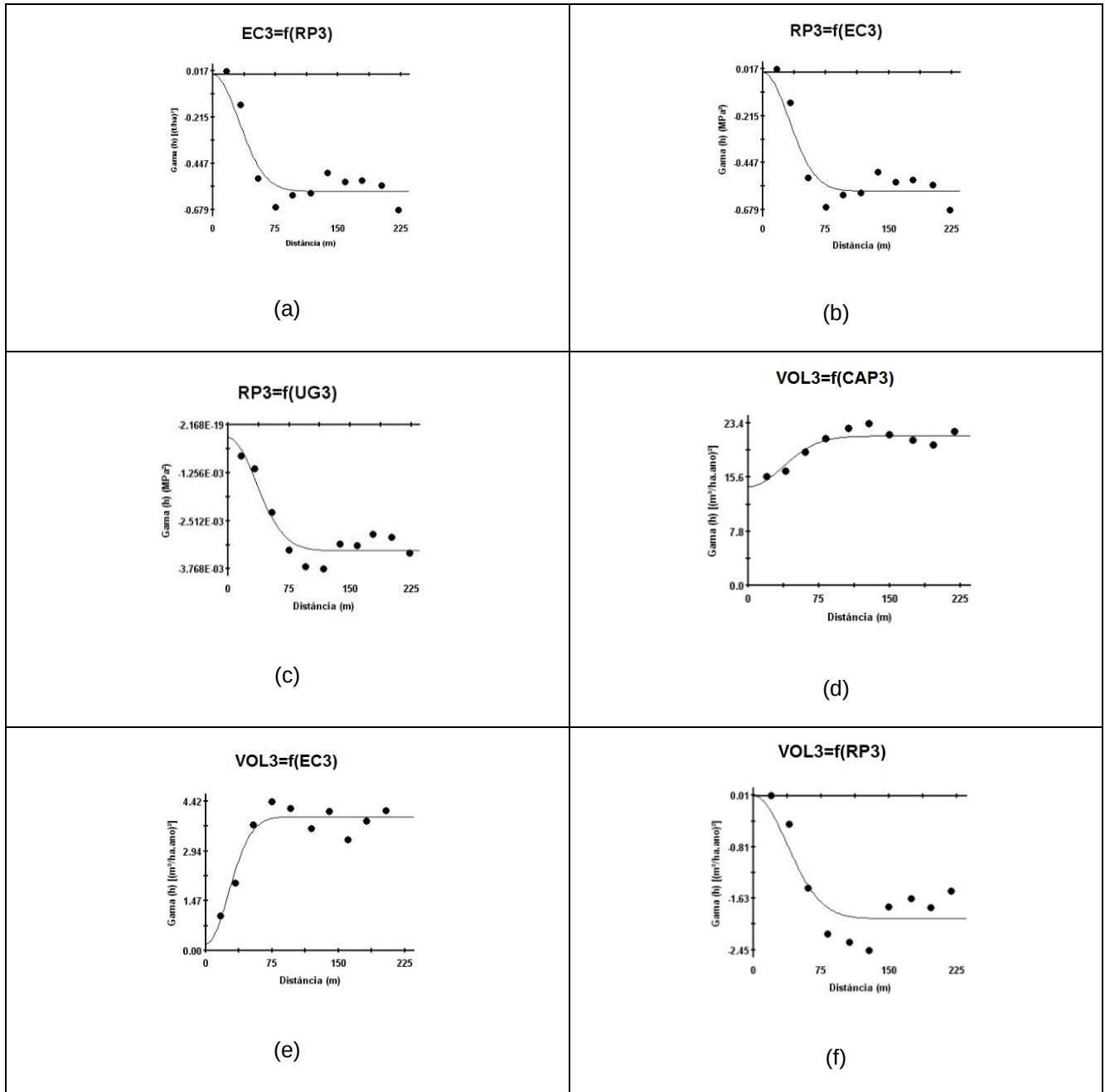


Figura 14 - Mapas de co-krigagem dos atributos do *Eucalyptus camaldulensis* e do solo em função de atributos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria-MS da Composição Amostral com Média de Dez Dados (CA10).

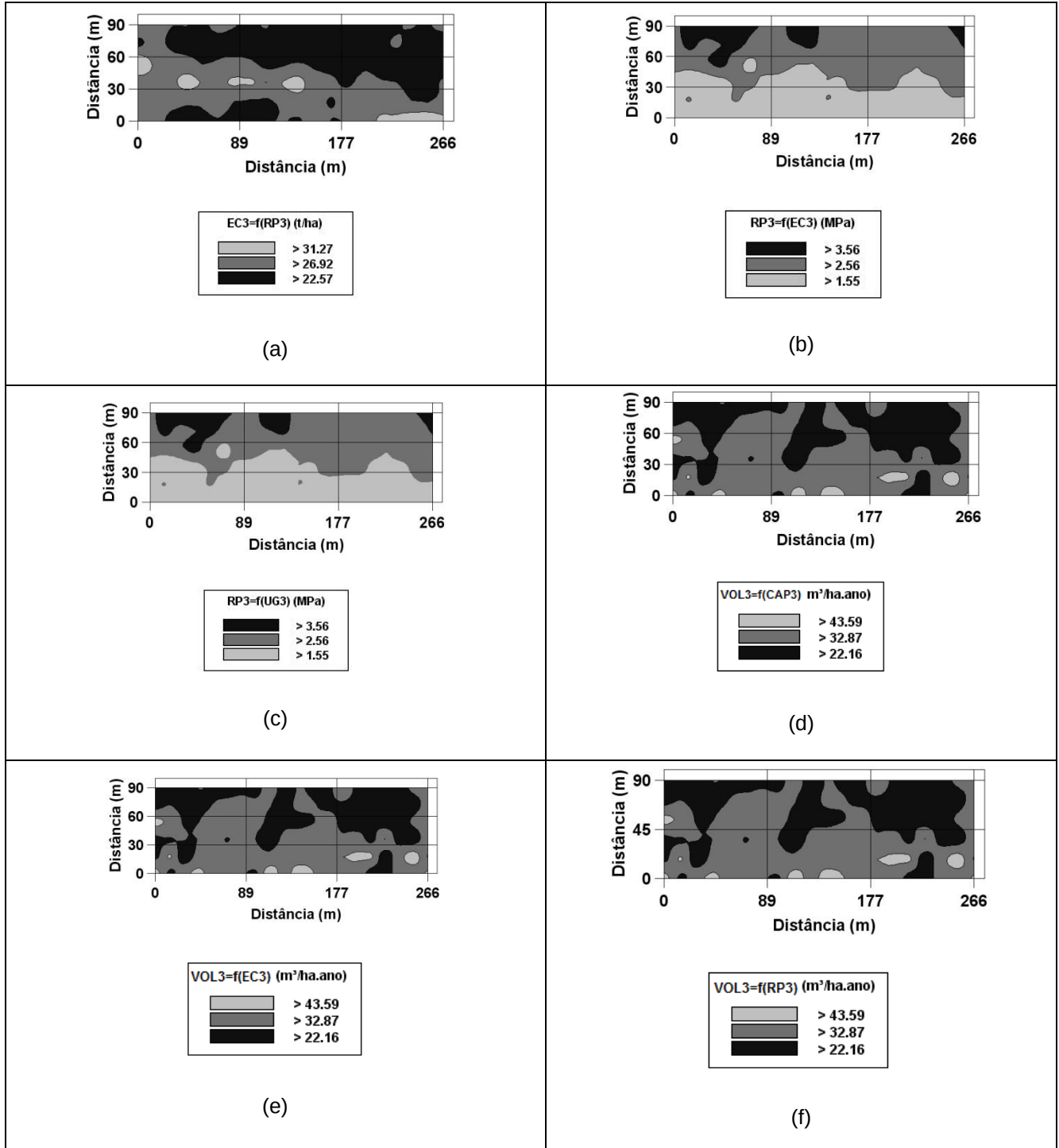


Figura 15 - Semivariograma simples e Mapa de krigagem do Volume da Madeira e da Resistência à penetração, 0,00-0,20m em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em Selvíria, MS da Composição Amostral com Média de Dez Dados (CA10).

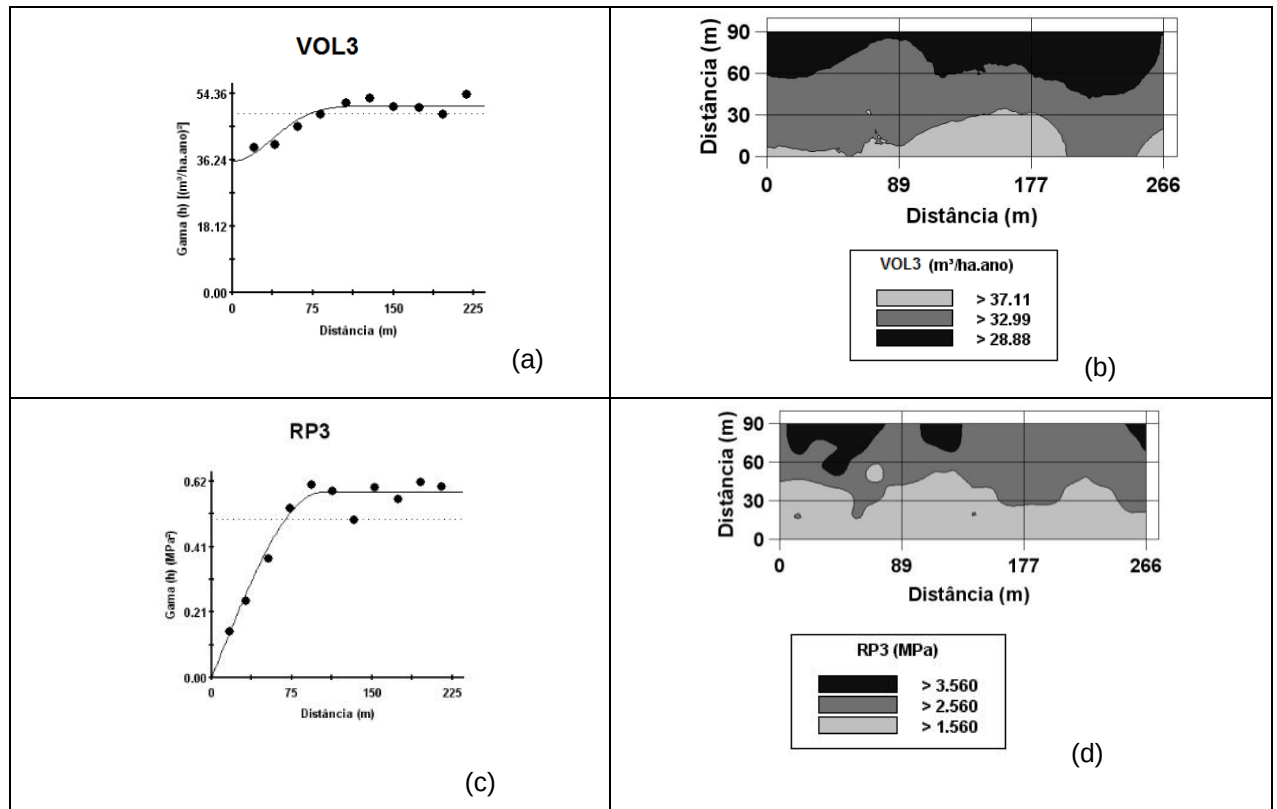
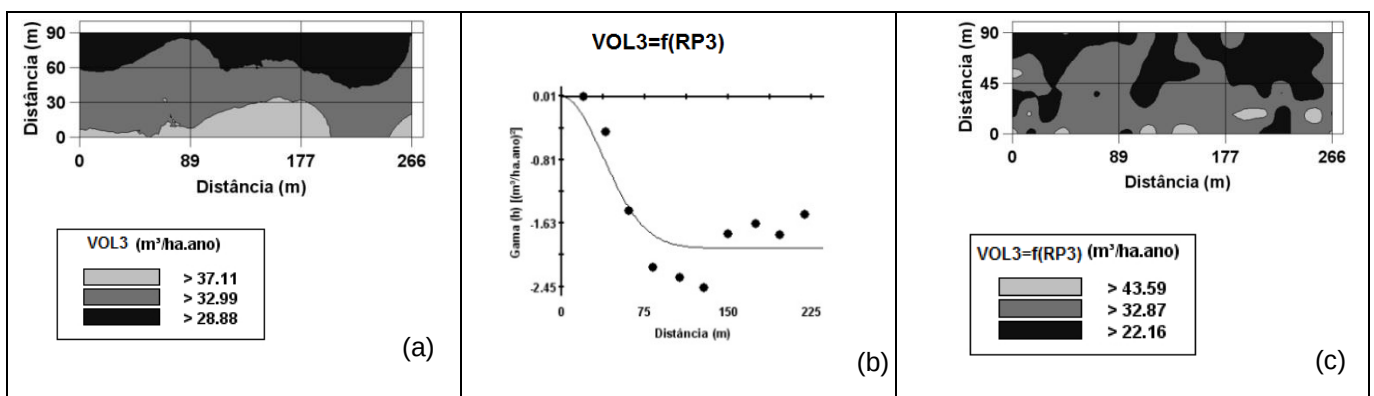


Figura 16 - Mapa de krigagem, semivariograma cruzado e mapa de co-krigagem do Volume da madeira em função da Resistência à penetração, 0,00-0,20m em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso em Selvíria, MS da Composição Amostral com Média de Dez Dados (CA10).



5 CONCLUSÕES

1. O volume da madeira pode ser estimado por meio da co-krigagem com a resistência à penetração do solo, ratificando assim ser um atributo potencial para atuar como indicador de qualidade visando o aumento da produtividade da madeira do eucalipto.
2. Do ponto de vista espacial, a Composição Amostral com Média de Dez Dados (CA10) foi a mais satisfatória, sendo a única composição amostral capaz de caracterizar a variabilidade dos atributos dendrométricos do *Eucalyptus camaldulensis*, onde possibilitou-se criar mapas relacionando-se com o solo, podendo definir as zonas específicas de manejo.

REFERÊNCIAS

- AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R. F. D.; ASSIS JUNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 415-422, 2007.
- ANCHIETA, L. **Amostragem de solo em agricultura de precisão: particularidades e recomendações**. 2012. 106 f. (Dissertação de Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo Piracicaba, 2012.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N.; JUCKSCH, I. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão feijão/milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 867-874, 2000.
- ANDREOLLA, V. R. M. **Eficácia de sulcadores de uma semeadora-adubadora e suas implicações na cultura da soja e nos atributos físicos de um Latossolo sob integração Lavoura-pecuária**. 2005. 147 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Agrícola – Engenharia de Sistemas Agroindustriais) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2005.
- ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical test for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society American Journal, 1996. p. 123-141. (SSSA Special publication, 49).
- ASSIS, R. L.; LAZARINI, G. D.; LANCAS, K. P.; CARGNELUTTI FILHO, A. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 558-568, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL – ABTCP. **A indústria de celulose e papel no Brasil**. 2017. Disponível em: <http://www.poyry.com.br/sites/www.poyry.com.br/files/media/related_material/16out27a-abtcp.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2018.
- ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; MELLO, J. M.; SILVA, A. M. Padrão espaço-temporal da umidade volumétrica do solo em uma bacia hidrográfica com predominância de Latossolos. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1801-1810, 2011.
- BALASTREIRE, L. A. A experiência com pesquisas em Agricultura de Precisão na ESALQ - USP. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA, 4., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Microservice, 1998. 1 CR-ROM.
- BARBOSA, C. E. M.; FERRARI, S.; CARVALHO, M. P.; PICOLII, P. R. F.; CAVALLINI, M. C.; BENETT, C. G. S.; SANTOS, D. M. A. Inter-relação da

produtividade de madeira do pinus com atributos físico-químicos de um latossolo do cerrado brasileiro. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 25-35, 2012.

BALDOTTO, M. A.; VIEIRA, E. M.; SOUZA, D. O.; BALDOTTO, L. E. B. Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 3, p. 301-309, 2015.

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.

BELLOTE, A. F. J.; NEVES, E. J. M. **Calagem e adubação em espécies florestais plantadas na propriedade rural**. Colombo: Embrapa, 2001. 6 p. (Circular Técnica 54).

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 843-849, 2005.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa. UFV. 2006. 625 p.

BERNOUX, M.; VOLKOFF, B. Soil carbon stock in soil ecoregions of Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J. ; CERRI, C. E. P. **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York: Haworth, 2006. p. 65-75.

BOGNOLA, I. A.; DEDECEK, R. A.; LAVORANTI, O. J.; HIGA, A. R. Influência de propriedades físico-hídricas do solo no crescimento de Pinus taeda. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, p. 37-49, 2010. Disponível em: <<https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/viewFile/90/106>>. Acesso em: 27 abr. 2018.

BORGELT, S. C.; SEARCY, S. W.; STOUT, B. A.; MULLA, D. J. Spatially-variable liming rates - a method for determination. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 37, n. 5, p. 1499-1507, 1994.

BOTEGGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rca/v44n1/a01v44n1.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2018.

BOWEN, H. D. Alleviating mechanical impedance. In: ARKIN, G. F.; TAYLOR, H. M. (Comp.). **Modifying the root environment to reduce crop stress**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1981. p. 21-57.

BRACELPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Florestas plantadas**. São Paulo: BRACELPA, 2014. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/shared/iba_2014_pt.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. **Agricultura de precisão**. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2014. 21 p.

BUSNARDO, C. A. et al. Em busca da qualidade ideal da madeira do eucalipto para produção de celulose: II. Inter-relações entre propriedades das árvores e de suas madeiras. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3., 1983, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1983. V. 1, p. 31-47.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

BURGESS, T. M.; WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semivariogram and punctual kriging. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 31, n. 3, p. 315-331, 1980.

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.

CAON, D. **Espacialização e mapeamento da fertilidade em diferentes camadas do solo e densidades amostrais**. 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Do Centro Oeste, Guarapuava, 2012.

CARR, J.; MYERS, D. E.; GLASS, C. Co-kriging a computer program. **Computers & Geosciences**, New York, v. 11, n. 2, p. 111-127, 1985. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/0098300485900020/1-s2.0-0098300485900020-main.pdf?_tid=396e14b7-037d-4152-b90a-f9082ab20e99&acdnat=1524832756_9c6d67b80c97d0d69496a9b8ae1944d4>. Acesso em: 27 abr. 2018.

CARVALHO, M. P.; MENDONÇA, V. Z.; CÉSAR, F.; PEREIRA, B. L.; ARF, M. V.; KAPPES, C.; DALCHIAVON, F. C. Produtividade de madeira do eucalipto correlacionada com atributos do solo visando ao mapeamento de zonas específicas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, p. 1797-1803, 2012.

CARVALHO, S. R. **Influência de dois sistemas de manejo de pastagens na compactação de uma terra roxa estruturada**. 1976. 89 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1976.

CHERUBIN, M. R. **Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização de atributos químicos em latossolos manejados com agricultura de precisão**. 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013. Disponível em: <

<http://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/4915/CHERUBIN%2c%20MAURICIO%20ROBERTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 27 abr. 2018.

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: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 249-290.

CORRÊA, A. R.; MONTANARI, R.; LAURA, V. C. A.; SILVA, E. N. S.; SANTOS, A. S. Aspects of the silvopastoral system; correlated with properties of a typic quartzipsamment (entisol) in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 438-447, 2015.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, p. 453-461, 2012.

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, 2011.

DELFINER, P.; DELHOMME, J. P. Optimum Interpolation by Kriging. In: DAVIS, J. C.; McCULLAGH, M. J. **Display and Analysis of Spacial Data**. New York: John Wiley, 1975.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 201-214, 2004.

DOMINGUES, C. A. **Estatística aplicada**: à metodologia da pesquisa científica para temas militares. Rio de Janeiro: EsAO, 2004.

DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Wisconsin: American Society of Agronomy, 1994a. 244 p.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSAJ, 1994. p. 3-22. (Publication Number, 35).

ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARWOOD, C.; WYK, G. **Eucalypt domestication and breeding**. Oxford: Clarendon Press, 1993. 288 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013.

FAGERIA, N. K. Resposta de arroz de terras altas à correção de acidez em solo de 7 cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n.11, p. 2303-2307, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/pab/v35n11/a24v3511.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2018.

FERRAZ, G. A. S.; SILVA, F. M.; COSTA, P. A. N.; SILVA, A. C. ; CARVALHO, F. M. Agricultura de precisão no estudo de atributos químicos do solo e da produtividade de lavoura cafeeira. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 59-67, 2012.

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.

GENRO JÚNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 477-484, 2004.

GILBERTO JÚNIOR, O. J. **Desempenho do reflectômetro no domínio do tempo na detecção de variações de umidade do solo**. 2003. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura de “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11131/tde-26082003-151706/pt-br.php>>. Acesso em: 27 abr. 2018.

GOERING, C. E. Recycling a concept. **Agricultural Engineering**. St. Joseph, v. 65, n. 6, p. 25, 1993.

GOMES, N. M.; FARIA, M. A.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R. & VIOLA, M. R. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 4, p. 427–435, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n4/v11n04a13.pdf>>. Acesso em: 27 abr.2018.

GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P.; VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, Alberto Carlo de Campos et al. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 74-83. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/113646/1/4221.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2018.

GS⁺: Gamma Design Software. **Geostatistics for the environmental sciences**. 7. ed. Plainwell: Gamma Design Software, 2004. 159 p.

HOLMES, K. W.; KYRIAKIDIS, P. C.; CHADWICK, O. A.; SOARES, J. V. ; ROBERTS, D. A. Multi-scale variability in tropical soil nutrients following land-cover change. **Biogeochemistry**, v. 74, p. 173-203, 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Extração vegetal e da Silvicultura**, Rio de Janeiro, v. 24, p. 1-45, 2016. V. 31. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sds_dads_agroextra/_arquivos/pevs2009_65.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2018.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÀ. **Relatório Anual 2017**. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2018.

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

JESUS, G. L.; SILVA, I. R.; ALMEIDA, L. F. J.; SANTOS, M. A.; LEITE, F. P.; NEVES J. C. L. Produtividade do eucalipto, atributos físicos do solo e frações da matéria orgânica influenciadas pela intensidade de tráfego e resíduos de colheita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 1190-1203, 2015.

JOHNSON, C. E.; SCHAFER R. L. M.; YOUNG, S. C. Controlling agricultural machinery intelligently. In: FOOD AGRICULTURAL ORGANIZATION. **Agricultural electronics and beyond, proceedings of national conference on agricultural electronics applications**. St. Joseph: American society of Agricultural Engineers, 1983. p. 114-119.

KAISER, D. R. et al. Dielectric constant obtained from TDR and volumetric moisture of soils in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 649-658, 2010.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**: relações solo-planta. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264 p.

KIM, Y. C. **Introductory geostatistics and mine planning**. Arizona: The University of Arizona, Department of Mining and Geological Engineering, 1990.139 p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n. 2, p. 45-54, 1998.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. **Journal South African**, Johannesburg, n. 52, p. 119-139, 1951.

KRISHNAMURTHY, L.; AVILA, M. **Agroforesteria básica**. México: Red. de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 1999. p. 29-36.

LAL, R.; KIMBLE, J.; STEWART, B. A. World soils as a source or sink for radiatively-active gases. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil management and greenhouse effect**. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1995. p. 1-7.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. **Krigagem Indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Rio Claro: DGA, IGCE, UNESP/Rio, 2002. (Geomatemática, Texto Didático 6). Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~edson/Artigos/Paulo%20M%20Barbosa%20Landim.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2018.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2. ed. São Paulo: Ed. UNESP, 2003.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, New York, v. 1, p. 277-294, 1985.

LIBARDI, P. L.; MANFRON, P. A.; MORAES, S. O.; TUON, R. L. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, p. 1-12, 1996.

LIMA, C. G. R.; CARVALHO, M. P.; NARIMATSU, K. C. P.; SILVA, M. G.; QUEIROZ, H. A. Atributos físico-químicos de um Latossolo do cerrado brasileiro e sua relação com características dendrométricas do eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 163-173, 2010.

LIMA, E. S. **Variabilidade espacial de atributos dendrométricas do eucalipto e de um neossolo quartzarênico a partir da aplicação de calcário ou lama de cal + oxifertil**. 2015. 69 f. Dissertação (Mestrado em Sistema de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/132131/000853466.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 27 abr. 2018.

LOPES, A. S.; GUIDOLIN, J. A. **Interpretação de análise de solo: conceitos e aplicações**. 3. ed. São Paulo: ANDA. 1989. 64 p.

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MARCOTTE, D. Cokriging with matlab. **Computer & Geosciences**, Montréal, v. 17, n. 9, p. 1265-1280, 1991.

MARTINI, E. J. **O plantador de eucaliptos: a questão da preservação florestal no Brasil e o resgate documental do legado de Edmundo Navarro de Andrade**. 2004. 320 f. Dissertação (Mestrado em História Social) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MATHERON, G. **Traite de geostatistique appliquee**. Technip: Memories Du Bureau De Recherches Geologiques Et Minières, 1962. Tome 1 and 2.

MCBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Detection of ridge and furrow pattern by spectral analysis of crop yield. **International Statistical Review**, Voorburb, v. 49, p. 49-52, 1981.

MELLO, J. M.; BATISTA, J. L. F.; RIBEIRO JUNIOR, P. J.; OLIVEIRA, M. S. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 69, p. 25-37, 2005.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S. ; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 1-5.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 223 p.

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, v. 34, n. 6, p. 1811-1822, 2010.

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, v. 34, n. 6, p. 1811-1822, 2010.

MONTANARI, R.; MARQUES, J. J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, p. 69-77, 2005.

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 em Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

NÓIA, N. R. C.; RIBON, A. A.; DAVALO, M. J. Estimativa do número mínimo de subamostras para avaliação da acidez ativa de um Neossolo Quartzarênico. **Revista Tropica: Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 6, n. 3, p. 87-101. 2012.

PELISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; DRESCHER, R.; SANTOS, V. S. Modelagem geoestatística da dinâmica espacial da altura dominante de *Tectona grandis* L.f. (Teca). **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 1249-1260, 2012.

PIERCE, F. J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 67, p.1-85, 1999.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. 11. ed. Piracicaba: Fundação Escola de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2002.

PONTES, J. M. **A geoestatística: aplicações em experimento de campo**. 2002. 82 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

PRADO, R. M.; ROQUE, C. G.; SOUZA, Z. M. Sistemas de preparo e resistência à penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em cultivo intensivo e pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 12, p. 1795-1801, 2002. Disponível em: <
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/108862/1/1795.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2018.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. 6. ed. São Paulo: Nobel, 1990. 550 p.

RAIJ, B. van et al. **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. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1987. 285 p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 49-134.

ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M. P.; MONTANARI, R.; SILVA, J. M.; SIQUEIRA, G. M.; ZAMBIANCO, E. C. Variabilidade espacial de propriedades dendrométricas do eucalipto e de atributos físicos de um Latossolo Vermelho. **Bragantia**, Campinas, v. 70, p. 439-446, 2011.

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 distroférrico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 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.

RUFINO, T. M. C.; THIERSCHE, C. R.; FERREIRA, S. O.; KANEGAE JÚNIOR, H.; FAIS, D. Uso da geoestatística no estudo da relação entre variáveis dendrométricas de povoamentos de eucalyptus sp. e atributos do solo. **Ambiência**, Guarapuava, v. 2 p. 83-93 Ed. Esp., 2006. Disponível em: <

<https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/259/341>>. Acesso em: 27 abr. 2018.

SANTANA, S. C. **Indicadores físicos da qualidade de solos no monitoramento de pastagens degradadas na região sul do Tocantins**. Dissertação. Gurupi: Universidade Federal do Tocantins, 2009.

SANTOS, M. C.; ROVEDA, M.; ZANON, M. L. B.; FIGUEIREDO FILHO, A. ROIK, M. PACHECO, J. M.; SCAVINSKI, V. Inventário florestal utilizando técnicas de silvicultura de precisão em povoamentos de *Eucalyptus grandis* hill ex maiden. **Floresta e Ambiente**, Soropédica, v. 24, e00082714, 2017. Disponível em: <>. Acesso em: 27 abr. 2018.

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

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

SILVA, J. M. **Avaliação da variabilidade genética em uma população base de Eucalyptus camaldulensis Dehnh. para fins de conservação e melhoramento genético**. 2010. 153 f. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.

SILVA JÚNIOR, J. F.; MARQUES JR, J.; CAMARGO, L. A.; TEIXEIRA, D. D. T.; PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T. Simulação geoestatística na caracterização espacial de óxidos de ferro em diferentes pedoformas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1690-1703, 2012.

SILVEIRA, P. M.; CUNHA, A. A. Variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica e argila de um latossolo submetido a sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 9, p. 1325-1332, 2002.

SILVEIRA, P. M.; ZIMMERMANN, F. J. P.; SILVA, S. C.; CUNHA, A. A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 10, p. 2057-2064, 2000.

SILVA, W. M. **Tamanho de parcelas experimentais e seleção simultânea de caracteres em progênies de Eucalyptus Camaldulensis dehnh**. 2016. 61 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; LOBATO, E.; CASTRO, L. H. R. Métodos para determinar as necessidades de calagem em solos dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 13, p. 193-198, 1989.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 27-34, 2003.

SOUZA, Z. M. ; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; CAMPOS, M. C. C. Amostragem de solo para determinação de atributos químicos e físicos em área com variação nas formas do relevo. **Científica**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 249-256, 2006.

SOUZA, Z. M.; SOUZA, G. S.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Número de amostras na análise geoestatística e na krigagem de mapas de atributos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, p. 261-268, 2014.

SOUZA, R. M. S.; ALMEIDA, A. Q.; RIBEIRO, A.; SOUZA, E. S.; LEITE, F. P. Evaluation of the spatial dependence of dendrometric characteristics for an Eucalyptus plantation. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 37, p. 483-488, 2015.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

VAUCLIN, S.; VIEIRA, S. R.; VACHAUD, G.; NIELSEN, D. R. O uso de cokrigagem com as observações limitadas de solo de campo. **Soil Society American Journal**, Madison, v. 47, p. 175-184, 1983.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 309-316, 2010.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, n. 1, p. 1-75, 1983.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. ; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54.

VOLKWEISS, S. J.; TEDESCO, M. J. **A calagem dos solos ácidos: prática e benefícios**. Porto Alegre: Ed. UFRGS; Fac. de Agronomia; Dep. de Solos, 1984.

WATSON, R. et al. Summary for policymakers: land-use, landuse change and forestry. In: CAMBRIDGE UNIVERSITY. **A special report of the Intergovernmental panel on climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. In: STEWART, B. A. (Ed). **Advance in soil science**. New York: Springer-Verlag, p. 1-70, 1985.