

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO
EM VARIEDADES DE PINUS**

**Juan Gabriel Cristhoffer Lopes Ruiz
Engenheiro Agrônomo**

2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO
EM VARIEDADES DE PINUS**

Juan Gabriel Cristhoffer Lopes Ruiz

Orientadora: Prof. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo)

2016

R934v Ruiz, Juan Gabriel Cristhoffer Lopes
Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em variedades de Pinus - SP / Juan Gabriel Cristhoffer Lopes Ruiz. -- Jaboticabal, 2016
vi, 54f. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016
Orientadora: Teresa Cristina Tarlé Pissarra
Banca examinadora: Marcelo Zanata, Morel de Passos e Carvalho, Zigomar Menezes de Souza, José Marques Júnior
Bibliografia

1. Geoestatística. 2. Propriedades dendrométricas. 3. Dependência espacial. 4. Análises multivariadas. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.42:528.8

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



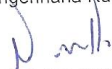
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

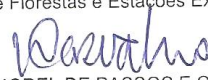
TÍTULO: VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM
VARIEDADES DE PINUS

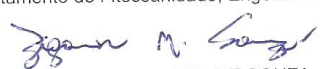
AUTOR: JUAN GABRIEL CRISTHOFFER LOPES RUIZ
ORIENTADORA: TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA
(CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Pesquisador MARCELO ZANATA
Divisão de Florestas e Estações Experimentais / Instituto Florestal - Batatais/SP


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


Prof. Dr. ZÍGOMAR MENEZES DE SOUZA
Departamento de Água e Solo / Universidade Estadual de Campinas - Campinas/SP


Prof. Dr. JOSÉ MARQUES JUNIOR
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 10 de junho de 2016.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

JUAN GABRIEL CRISTHOFFER LOPES RUIZ - nascido em 5 de agosto de 1987, na cidade de Eldorado - MS, graduou-se em Engenharia Agrônômica em dezembro de 2009, pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. Em março de 2010, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, período em que foi bolsista da FAPESP. Em agosto de 2012, iniciou o curso de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), na mesma Instituição, período em que cumpriu, inteiramente sem bolsa, tendo em vista ser Professor em curso de agronomia. É coordenador de curso de pós-graduação em latu senso no Centro Universitário de Bebedouro. Durante o doutorado publicou três artigos científicos.

*Então entenda
Não perca seu tempo sempre procurando
Aqueles anos perdidos
Encare, tome posição
E perceba que você vive nos seus anos dourados*

Iron Maiden – Wasted Years

DEDICO

Ao meu querido avô Luis Lopes (in memorian), por todo amor e carinho, pelo exemplo de vida, coragem, sacrifício, amor em prol da minha família e pelos inesquecíveis momentos que compartilhamos juntos.

OFEREÇO

Ao meu “filhão” Bernardo Velho Ruiz”, fonte inspiradora da minha vida e eterno amor.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha vida e por conceder-me saúde e coragem para enfrentar os obstáculos encontrados durante a jornada minha vida;

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Departamento de Engenharia Rural pela oportunidade concedida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo financiamento desta pesquisa.

À minha família, que me ensinou a viver com respeito e dignidade; em especial, Doralice Lopes e José Ferrari, meus pais. Meu irmão João Victor e minha avó Aparecida Lopes. Por ser uma família muito grande não citarei o nome de todos, mas sempre serão lembrados.

À professora Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra, por ter confiado em mim, pelo apoio e orientação, pelos incentivos e valiosos ensinamentos ao longo deste período, pelos conselhos, por compartilhar sua sabedoria, e além de sua estimável amizade.

À minha namorada Camila Santos, que além de ser minha companheira é minha amiga. Eu te agradeço pela força, paciência, confiança, carinho e atenção.

Aos meus amigos Gustavo Claudiano, Anildo Caldas, Paulo Eduardo, Elcídes Rodrigues, Anderson Silva, Elder Batista, Bruno Braos, Lucas Braos, Thiago Sylvestre, Felipe Batistella, Ronny Barbosa, Thiago Ibiapina pela presença e amizade durante essa jornada nesta cidade.

Aos companheiros de laboratório Fabiana, Igor e Paulo que auxiliaram nas coletas e análise de solo.

Ao Instituto Florestal de São Paulo por ceder a área do experimento.

A todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE ABREVIACÕES.....	ii
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 O gênero <i>Pinus</i> e sua importância econômica.....	3
2.2 Variedades de <i>Pinus caribaea</i>	5
2.2.1 <i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	5
2.2.2 <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	6
2.3 Fatores ambientais que interferem no crescimento.....	8
2.4 Impactos do uso do solo nos atributos químicos do solo.....	10
2.5 Técnicas estatísticas aplicadas à ciência do solo.....	12
2.5.1 Geoestatística.....	12
2.5.2 Análise Multivariada.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 Caracterização da área de estudo.....	18
3.2 Coleta e análise dos dados.....;	19
3.3. Análise estatística.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1. Variabilidade Espacial dos atributos químicos do solo em relação as variáveis da planta.....	22
4.2 Análise multivariada dos atributos do solo e de plantas em função das variedades de <i>Pinus</i>	31
6. CONCLUSÕES.....	38
5. REFERÊNCIAS.....	39

LISTA DE ABREVIações

K	Potássio
P	Fósforo
Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
MO	Matéria Orgânica
H+Al	Acidez Potencial
DAP	Diâmetro a altura do peito
CV	Coeficiente de Variação
AA	Análise de Agrupamento
ACP	Análise de Componentes Principais
CPs	Componentes principais

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estatística descritiva do P resina (mg dm^{-3}), K, Ca, Mg e H+Al (mmolc dm^{-3}), MO (g dm^{-3}), pH em CaCl_2 , altura (m) e DAP (cm) nas profundidades de 0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, na área de Pinus do Instituto Florestal, Batatais - SP.....	22
Tabela 2. Valores médios dos atributos químicos do solo e das propriedades da planta, nas variedades de <i>Pinus caribaceae</i> nas profundidades de 0 – 0,20 m e 0,20 - 0,40 m, na área do Instituto Florestal, Batatais - SP.....	31
Tabela 3. Autovalores e % da variância dos dados pela Análise dos Componentes Principais para os atributos do solo e da planta, nas profundidades de 0 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 m na área de Pinus do Instituto Florestal, Batatais - SP.	32
Tabela 4. Correlação entre cada componente principal e as variáveis analisadas para os atributos do solo e da planta, nas profundidades de 0 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 m, na área de Pinus do Instituto Florestal, Batatais - SP.....	33

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Coeficientes e parâmetros do ajuste do modelo de semivariograma. 14
- Figura 2.** Modelos de semivariogramas que melhor se ajustam às semivariância dos atributos do solo. Fonte: Oliveira (2013). 15
- Figura 3.** Localização e coleta dos pontos amostrados na área de estudo no município de Batatais – São Paulo, obtida via satélite (Google, 2015). 18
- Figura 4.** Semivariogramas ajustados aos atributos do solo nas profundidades de 0–0,2 m e 0,2–0,4 m, na área de Pinus do Instituto Florestal, Batatais - SP. Esf. = esférico; Exp. = Exponencial; [modelo (efeito pepita - patamar – $[(C_0/(C_0+C_1)) \times 100 - R^2 - \text{alcance}]$]. $[(C_0/(C_0+C_1)) \times 100 = \text{grau de dependência espacial}; R^2 = \text{coeficiente de determinação}$ 27
- Figura 5.** Semivariogramas ajustados as propriedades de planta, na área de Pinus do Instituto Florestal, Batatais - SP. Esf. = esférico; [modelo (efeito pepita - patamar – $[(C_0/(C_0+C_1)) \times 100 - R^2 - \text{alcance}]$]. $[(C_0/(C_0+C_1)) \times 100 = \text{grau de dependência espacial}; R^2 = \text{coeficiente de determinação}$. DAP: Diâmetro médio a altura do peito. 28
- Figura 6.** Distribuição espacial dos atributos químicos do solo nas profundidades de 0–0,2 m e 0,2–0,4 m, na área de Pinus do Instituto Florestal, Batatais - SP. H+Al= acidez potencial. 29
- Figura 7.** Distribuição espacial dos atributos das plantas nas profundidades de 0–0,2 m e 0,2–0,4 m, na área de Pinus do Instituto Florestal, Batatais - SP. DAP = diâmetro da altura do peito. 30
- Figura 8.** Modelo de elevação digital na área de Pinus do Instituto Florestal, Batatais, SP. 31
- Figura 9.** Análise de componentes principais dos atributos químicos do solo e da planta nas profundidades nas profundidades de 0– 0,2 m (A) e 0,2 – 0,4 m, (B) na área de Pinus do Instituto Florestal, Batatais - SP. DAP = diâmetro da altura do peito; V1: Espécie *Pinus caribaea* var. *bahamensis*; V2: Espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. 34
- Figura 10.** Dendrograma das interrelações resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos com base nos atributos de solo e planta (A) e entre as duas variedades de Pinus (B) na profundidade de 0,0-0,20 m na área do Instituto Florestal, Batatais - SP. DAP = diâmetro da altura do peito; V1: Espécie *Pinus caribaea* var. *bahamensis*; V2: Espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. 35
- Figura 11.** Dendrograma das interrelações resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos com base nos atributos de solo e planta (A) e entre as duas variedades de Pinus (B) na profundidade de 0,20-0,40 m na área do Instituto Florestal, Batatais, SP. DAP = diâmetro da altura do peito; V1: Espécie *Pinus caribaea* var. *bahamensis*; V2: Espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis* 36

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM VARIEDADES DE PINUS

RESUMO – Estudos têm sido conduzidos para verificar as relações existentes entre o crescimento das florestas e os atributos químicos dos solos, responsáveis pelo potencial produtivo. O objetivo deste trabalho foi caracterizar e avaliar a variabilidade espacial de propriedades dendrométricas (altura e diâmetro a altura do peito) de povoamento de Pinus e a relação destes com os atributos químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo do Instituto Florestal de Batatais –SP. Para o mapeamento dos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo(P), potássio (K), matéria orgânica (MO), pH e acidez potencial (H+Al) as amostras de solos foram coletadas nos pontos de cruzamento de uma malha com intervalos regulares de 36 m, totalizando uma área de 16 hectares com espécies de *Pinus*, na profundidade de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m, sendo coletadas 123 amostras em cada uma das duas profundidades, totalizando 246 amostras. Ao redor de cada ponto georreferenciado foram selecionadas nove árvores de Pinus, de maneira que cada ponto cadastrado fosse rodeado de forma uniforme, realizando-se as medidas de altura e diâmetro na altura do peito. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, geoestatística e análises multivariadas. De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que as árvores de Pinus apresentaram maior crescimento, com maiores valores de altura das árvores e do diâmetro na altura do peito, nas regiões em que os teores dos atributos químicos do solo foram maiores. O estudo mostrou que a análise multivariada foi eficiente para caracterizar os atributos químicos que foram mais sensíveis em discriminar as espécies de *Pinus* avaliadas sendo eles, o DAP, a altura da planta, Ca, Mg, K e pH com a *Pinus caribaea var.bahamensis*, e as variáveis H+Al, MO e P com a *Pinus caribaea var.hondurensis*.

Palavras-chave: Geoestatística, propriedades dendrométricas, dependência espacial, análises multivariadas.

SPATIAL VARIABILITY OF SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES ON PINUS VARIETIES

ABSTRACT – Studies have been conducted to verify the relationship between the growth of forests and chemical properties of the soil that are responsible for the productive potential. The aim of this study was to characterize and evaluate the spatial variability of dendrometric properties (height and diameter at breast height) of pine stand, and Their relationship with the chemical attributes of an Oxisol of the Forest Institute of Batatais SP. For the mapping of the calcium (Ca), magnesium (Mg), phosphorus (P), potassium (K), organic matter (OM), pH and potential acidity (H + Al) the soil samples were collected at the point of crossing a grid at intervals of 36 m, a total area of 16 hectares with pine species at a depth of 0,0 to 0,20 0,20-0,40 m, and collected 123 samples in each of the two depths, totaling 246 samples. Around each georeferenced point nine trees were selected *Pinus*, so that each spot was surrounded registered evenly. Then, there were the measures of height and diameter at breast height. The data were submitted to descriptive statistics, geostatistics and multivariate analysis. According to the results, it is concluded that the pine trees grew faster, with greater height values of trees and diameter at breast height, in areas where the levels of soil chemical properties were higher. The study revealed that the multivariate analysis was efficient to characterize the chemical attributes que Were most sensitive to discriminate Evaluated pine species. Being the diameter at breast height, plant height, Ca, Mg, K and pH *Pinus caribaea var.bahamensis*, and variable H + Al, OM an P with *Pinus caribaea var.hondurensis*.

Keywords: Geostatistics; dendrometric properties, spatial dependence, multivariate analysis

1. INTRODUÇÃO

Avanços tecnológicos no segmento florestal têm mostrado a importância de se medir e obter aspectos da variação espacial e temporal de atributos do solo que afetam o rendimento das espécies dos povoamentos florestais, com o objetivo de otimizar o gerenciamento do processo de produção (BOGNOLA et al., 2008).

Os principais determinantes ambientais da produtividade florestal são o clima, a topografia, material de origem e o solo. Numerosos estudos têm sido conduzidos para verificar as relações existentes entre o crescimento das florestas e os atributos físicos, químicos e biológicos dos solos, principais responsáveis pelo potencial produtivo de um sítio (SCHNEIDER, 2008). Quando os fatores climáticos e fisiográficos se mantêm constantes, mediante procedimento adequado de estratificação, o solo é o fator que tem relação com o crescimento da floresta (RALSTON, 1967). Os atributos do solo são um dos fatores que podem influenciar na qualidade final da polpa produzida, pela sua interferência na taxa de crescimento dos sítios florestais e, conseqüentemente, na qualidade da madeira produzida (RIGATTO; DEDECEK; MATTOS, 2004).

A determinação dos atributos químicos do solo é um fator básico na condução de povoamentos e para o planejamento da produção florestal, evitando a degradação de seus atributos, visando à produção sustentável (ORTIZ et al., 2006) e, sobretudo contribuindo para a aplicação de técnicas de silvicultura de precisão. As relações dendométricas, ou seja, as funções relacionadas ao diâmetro a altura do peito e altura total da árvore, são sensíveis às variações de sítio tornando-se imprescindível suas características, justificando desta maneira o estudo detalhado de suas características dendrométricas e dos atributos do solo que interferem sobre o crescimento dos sistemas florestais (RIGATTO; DEDECEK; MATTOS, 2004).

A aplicação de técnicas de geoestatística permite modelar e descrever a variabilidade espacial dos atributos de solo e da planta (SIQUEIRA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2015a), favorecendo a construção de mapas de isolinhas com o nível de detalhe desejável para maior compreensão das relações entre o solo e as espécies florestais. O conhecimento da variabilidade espacial e temporal dos fatores que afetam a produção e a produtividade dos povoamentos florestais permite realizar intervenções precisas, para obter o máximo rendimento de acordo com as

potencialidades do solo e dos demais fatores ambientais locais (PELISSARI; CALDEIRA; SANTOS, 2014).

Outra maneira de avaliar os atributos do solo com o crescimento das plantas é com o uso da estatística multivariada. Esta ferramenta permite obter informações e interpretações que poderiam não ser perceptíveis com o uso da análise estatística univariada (CRUZ; REGAZZI, 2001). Estudos na ciência do solo, nos quais muitas informações necessitam ser interpretadas, adotaram a estatística multivariada e a integraram com a estatística espacial (FACCHINELLI; SACCHI; MALLÉN, 2001; BORUVKA et al., 2007).

O uso de técnicas multivariadas associada à geoestatística tem permitido abordagens eficientes em ciências agrárias, principalmente por considerar, segundo Silva et al. (2010), simultaneamente, a variação espacial de um número elevado de variáveis que influenciam os sistemas de produção agrícola. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial de propriedades dendrométricas (altura e diâmetro a altura do peito) de povoamento de Pinus e a relação destes com os atributos químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo do Instituto Florestal, Batatais – SP.

-Hipótese:

H_0 : O Pinus não responde a calagem e adubação.

H_1 : O Pinus responde a calagem e adubação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O gênero *Pinus* e sua importância econômica

O gênero *Pinus* é pertencente da família Pinaceae, sendo o mais antigo e surgido há aproximadamente 180 milhões de anos. Esse gênero é composto por mais de cem espécies e abrangem regiões temperadas e tropicais (FPL, 1988). Ocorre naturalmente do sul dos Estados Unidos e se estende desde os Estados de Nova Jersey e Delaware em direção ao sul até a região central do Estado da Flórida, ao oeste até o leste do Estado do Texas e vale do Rio Mississippi ao extremo sudeste de Oklahoma, Arkansas central e sul do Estado do Tennessee (USDA FOREST SERVICE, 2000).

No Brasil, o *Pinus* foi introduzido há aproximadamente um século, no entanto, a silvicultura desta espécie foi intensificada a partir de 1966, com a lei de incentivos fiscais promovida pelo governo federal, que tinha como objetivo solucionar a escassez de matéria prima e regulamentar a exploração e o uso das florestas, que até então estava sendo conduzida de maneira desenfreada (TRIANOSKI, 2012). Em razão das condições edafoclimáticas e fisiográficas, favoráveis ao estabelecimento de plantios de eucalipto e pinus nas décadas de 1970 e 1980, os reflorestamentos com essas espécies tiveram grande expansão na Região do Cerrado (JUVENAL; MATTOS, 2002).

A área ocupada por plantios florestais de Eucalipto e *Pinus* totalizou 6.515.844 ha no Brasil, em 2011, sendo 74,8% correspondente à área de plantios de Eucalipto e 25,2% aos plantios de *Pinus*. Destaca, ainda, o aumento do valor bruto da produção florestal que atingiu 53,91 bilhões de reais. Da mesma forma, o nível de emprego dos diversos segmentos da cadeia produtiva de base florestal plantada apresentou valores superiores aos alcançados em 2010, atingindo 4,73 milhões entre empregos diretos, indiretos e os devidos ao efeito da renda (ABRAF, 2012).

Segundo a Abraf (2012), a área existente de florestas plantadas em 2011 apresentou, pela primeira vez nos últimos 10 anos, uma preocupante estagnação em torno de 6,5 milhões de hectares. A área de plantios de *Pinus* totalizou 1.641.892 ha em 2011, valor 6,5% inferior ao registrado em 2010. Esse resultado corrobora a

tendência de redução da área plantada de *Pinus* em prol da substituição por plantios de Eucalipto.

A região Sul lidera o ranking de área plantada com *Pinus* no Brasil, chegando a 40% do total (ABRAF, 2012). As características tecnológicas e silviculturais da madeira de *Pinus*, bem como a introdução no Brasil de espécies tropicais, têm promovido uma alternativa substancial na distribuição geográfica das florestas plantadas com este gênero. As áreas de plantio, antes restritas à região Sul, têm-se ampliado, atingindo as regiões Sudeste e Centro-Oeste e algumas áreas das regiões Norte e Nordeste (GOMES, 1993).

Pinus é uma espécie considerada de baixa exigência nutricional (PRITCHETT; ZWINFORD, 1961) e a ausência de sintomas de deficiências, particularmente nas primeiras rotações, propiciou a ideia que esta espécie, dispensaria a prática de fertilização mineral. Em seu trabalho, Reissmann e Wisniewski (2005) relatam que o *Pinus* demonstra uma capacidade extraordinária de aproveitamento dos recursos nutricionais em sítios de baixa fertilidade, entretanto pode ocorrer diminuição do crescimento.

Diversos autores, como Corrêa (2007); Reissmann e Wisniewski (2005), Rigatto (2002), estudaram os fatores de solo e as suas relações com o estado nutricional e a produtividade dessa espécie e observaram estreita interdependência entre essas variáveis. Constatou-se também que, apesar de o *Pinus* ser considerado pouco exigente quanto à fertilidade do solo, níveis diferenciados de produção têm sido observados quando se plantam espécies em condições edáficas distintas (BALLONI, 1984). Devido a essa taxa de crescimento diferenciada, as propriedades da madeira também não são as mesmas, sendo importante a obtenção de informações detalhadas sobre as propriedades deste material. A boa produtividade e a qualidade da madeira da espécie têm feito com que ela seja uma das mais procuradas para produção de madeira em regiões tropicais (FLORSHEIM, 2010).

O setor florestal brasileiro contribui com uma parcela importante para a economia brasileira, gerando produtos para consumo direto ou para exportação, impostos e empregos para a população e, ainda, atuando na conservação e preservação dos recursos naturais. Segundo dados da Embrapa (2005), o estabelecimento e o manejo de florestas plantadas com *Pinus* vem possibilitando o abastecimento de madeira que anteriormente era suprido com a exploração do pinheiro brasileiro. Seu plantio, por muitos anos teve como objetivo principal

abastecer o setor de papel e celulose. Entretanto, com a crescente demanda de madeira e a forte pressão pela preservação das florestas nativas, sua produção se ampliou, atendendo também a demanda de madeira serrada e para laminação (MORO, 2005). Assim, essa prática estabeleceu-se como uma importante aliada dos ecossistemas florestais nativos, pois supre uma parcela cada vez maior da necessidade atual de madeira.

2.2 Variedades de *Pinus caribaea*

O *Pinus caribaea* compreende três variedades, sendo elas, *bahamensis*, *caribaea* e *hondurensis* (PINTO JR; KAGEYAMA; JACOB, 1979; SEBBENN, et al., 2010; SHIMIZU, 2008). Estas variedades apresentam diferentes regiões de origem e diferentes características morfológicas, sendo que, alguns taxonomistas questionam o agrupamento destas variedades, descrevendo-as como espécies distintas.

Segundo Foelkel (2008), com o objetivo de melhorar a qualidade da madeira e otimizar a sua produção, as variedades de *Pinus caribaea* estão sendo extensivamente estudadas em diversas regiões do mundo por possuírem grande potencial de plantios florestais em zonas quentes e livres de geada. No Brasil, segundo Gibson (1987), o *Pinus caribaea* têm sido plantado com sucesso por apresentar boa adaptação, boa forma do fuste, rápido crescimento e alta produção de resina, principalmente nas regiões quentes e com déficit hídrico.

2.2.1 *Pinus caribaea* var. *bahamensis*

O *Pinus caribaea* var. *bahamensis* tem sua origem nas Ilhas das Bahamas (GREEN, 2011), ocorrendo em áreas separadas e distantes entre si. Mesmo sendo originária de locais próximos ao nível do mar, esta espécie tem apresentado bom crescimento no Brasil, mesmo em regiões de planalto (SHIMIZU, 2008).

No Brasil, o *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, representa uma das espécies de maior importância para a produção de madeira em regiões tropicais (FLORSHEIM, 2010) e resina (MISSIO; MORAES; DIAS, 2007), com altos incrementos volumétricos (FLORSHEIM, 2010). Esta espécie pode ser plantada em toda a região tropical brasileira, podendo se estender, inclusive, para a Região Sul, onde o frio é

mais intenso, porém desde que as geadas não sejam severas (SHIMIZU, 2008), podendo atingir até 30 m de altura (GREEN, 2011).

É importante ressaltar a influência do clima nessa variedade. Em seu estudo, Barnes et al. (1977), avaliando árvores de diferentes procedências e diferentes sítios aos seis anos de idade na Rodésia, obtiveram valores para o DAP de 10,36 cm a 10,83 cm e, Francis (1989) apresentou para árvores localizadas em Porto Rico, com 23 anos, altura média de 19,60 m e DAP de 25,50 cm. Já experimentos conduzidos por Moura, Parca e Silva (1991), demonstraram que procedências de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* implantadas na região dos cerrados não apresentaram boa adaptação neste tipo de clima, onde, avaliando o comportamento de procedências em 3 locais, obtiveram para indivíduos de 12 anos, altura média de 13,60 m e DAP de 13,20 cm. Segundo os mesmos autores, entre as espécies avaliadas, o *P. caribaea* var. *bahamensis* foi a de menor crescimento e a altitude do local de plantio influenciou marcadamente as médias da massa específica básica.

Em estudos efetuados com a espécie, considerando o melhoramento genético, Freitas et al. (2005), demonstram que o *P. caribaea* var. *bahamensis* apresenta potencial para o melhoramento de diversos caracteres de valor econômico, entre eles, caracteres de crescimento, forma do fuste, produção de resina e principalmente volume.

Quando se avalia a qualidade da madeira, Shimizu (2008), em uma abordagem geral relata que a madeira desta espécie tende a ser mais densa e, portanto, de melhor qualidade física e mecânica quando comparada com a variedade *hondurensis*.

2.2.2 *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

O *Pinus caribaea* var. *hondurensis*., entre as três variedades, é a que produz maior volume de madeira, devendo esta característica ser levada em conta em função do propósito do plantio (SUASSUNA, 1977). Sua distribuição natural ocorre em Belize, Guatemala, Honduras, Nicarágua e México (FREITAS et al., 2005). É encontrada em altitudes que variam desde o nível do mar até 500 m de altitude, podendo chegar, em alguns locais, a 1.000 m. Esta variação de altitude pode levar a variabilidade genética ligada à adaptação às condições ecológicas (SHIMIZU, 2008). Possui intolerância a geada, e segundo a Embrapa (1986), a sensibilidade ao frio é

condição limitante para a espécie, onde em sua área de ocorrência natural a temperatura mínima raramente alcança 5° C.

Esta espécie pode atingir até 45 m de altura e 135 cm de DAP, com tronco reto, bem formado e sem excesso de ramificações (SHIMIZU; SEBBENN, 2008). Em continuidade as características de crescimento, Barnes et al. (1977) avaliando procedências de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na Rodésia, obtiveram diâmetro médio no intervalo de 11,80 cm a 12,51 cm. Em outro estudo, Barrichelo (1979), para árvores de 16 anos plantadas na região de Agudos - SP, estudando a qualidade da madeira desta espécie para a produção de celulose Kraft, obteve, altura média de 19,07 m e DAP médio de 22,87 cm. Com o mesmo objetivo do autor citado acima, Sansígolo e Barreiros (2004), obtiveram valores muito próximos para plantios de 21 anos, altura comercial média de 19,40 m e DAP médio de 22,80 cm. Outro estudo realizado na região de Sacramento – MG, Capitani et al. (1980) obtiveram para árvores com idade de 7,6 anos, altura média de 11,73 m e DAP de 18,90 cm.

Em avaliação do comportamento de *Pinus* centro- americanos aos 12 anos em três regiões dos cerrados, Moura, Parca e Silva (1991), obtiveram altura média no intervalo de variação de 16,00 a 17,40 m e DAP variando entre 15,60 cm a 16,80 cm. Moraes et al. (2007), analisando o efeito do desbaste seletivo em plantios em Agudos - SP, encontraram para indivíduos de 12, 13 e 14 anos, altura média entre 18,64 m a 23,20 m, DAP entre 19,32 cm e 25,04 cm e volume médio por árvore de 0,385 m³ a 0,750 m³. Em seu trabalho, Sebbenn et al. (2010), avaliando parâmetros genéticos e ganhos na seleção para caracteres de crescimentos, obtiveram a partir de experimento de 13 anos em Assis – SP, altura média de 20,97 m e DAP de 23,58 cm. Neste mesmo estudo, os indivíduos testemunhas apresentaram 18,71 m e 21,75 cm para altura e DAP respectivamente, sendo considerado o crescimento médio como substancial.

Para Moraes et al. (2007), ao contrário das outras duas variedades do *Pinus caribaea*, o sucesso comercial desta variedade ocorre principalmente pela disponibilidade de sementes, e também ao seu bom desenvolvimento em solos pobres, e à elevada qualidade de sua madeira amplamente utilizada em diversas aplicações. Considerando as regiões para plantio, Golfari (1967) menciona que a região recomendada engloba desde a Região Norte do Estado de São Paulo até a Amazônia.

2.3 Fatores ambientais que interferem no crescimento

Os fatores ambientais como o clima, material de origem, o relevo e o solo contribuem para o crescimento do Pinus. O ambiente é tão importante quanto a espécie utilizada. Mas, o que deve ser considerado, quando da instalação de plantios, é a interação entre ambos.

De acordo com Schumacher (1999), as condições climáticas são tidas como fatores primários, por serem as mais limitantes e de difícil controle. As variáveis climáticas mais importantes, como a temperatura, a precipitação e a evapotranspiração e a combinação de algumas delas, como elevada pluviosidade e temperaturas, favorecem a formação de solos desenvolvidos, com uma evolução mais avançada que os solos encontrados em regiões frias (AZEVEDO; DALMOLIN, 1999). O clima, como fator de formação do solo, exerce influência marcante em algumas de suas características.

Quando se refere ao material de origem, este, segundo Jenny (1941), é o estado do sistema solo no tempo zero de sua formação, e o solo é o produto do intemperismo desse material, sendo composto por fragmentos de rocha, por argilominerais e matéria orgânica (PRESS et al., 2006). A composição do material de origem, o tempo e a intensidade do intemperismo são fatores muito importantes na formação dos solos. Em geral quanto mais jovem, maior a influência e as relações do material de origem com as propriedades do solo. Com o avanço do intemperismo e dos processos pedogenéticos, algumas características do material inicial são perdidas. Entretanto, não se deve concluir que em solos intemperizados e muito antigos a influência do material inicial tenha desaparecido completamente (KAMPF; CURI; MARQUES, 2009). A diversidade geológica, climática e de relevo origina uma grande variedade de tipos de solos e muitas vezes essas variações ocorrem a curtas distâncias (STRECK et al., 2002)

O fator relevo está intimamente relacionado ao fator tempo na gênese dos solos. Este fator interage com o clima e controla o fluxo de água, solo, nutrientes na superfície e dentro do solo (infiltração, lixiviação e translocação) e intensidade de insolação (OLIVEIRA; PEICHL, 1986). Quando a topossequência de vegetação nativa é convertida para cultivada, pode haver perda líquida de nutrientes por mineralização ao longo do declive, em decorrência de práticas agrícolas inadequadas, sem planejamento e conhecimento das reais possibilidades de uso do

solo. Com a continuação do cultivo, o solo fica suscetível aos processos erosivos, de modo que as áreas convexas das encostas apresentam perdas progressivas de material, enquanto as áreas côncavas atuam inicialmente como áreas de deposição. Entretanto, com a continuidade da erosão as áreas côncavas também sofrem perdas líquidas de nutrientes para outros locais (GREGORICH et al., 1998).

O solo, através de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, é o fator ambiental que mais influencia o crescimento e é o principal limitante para a produtividade do Pinus. O solo, por sua vez, é a característica que mais influencia o crescimento das plantas, as ofertas de nutrientes minerais e a qualidade dos produtos que são gerados. Por meio da sua interferência na taxa de crescimento dos sítios florestais e, conseqüentemente, na qualidade da madeira produzida.

Características químicas do solo que determinam os níveis da fertilidade podem ser usadas no estudo das relações sítio-planta. Todavia, devido às variações climáticas e às técnicas silviculturais a que os povoamentos estão sujeitos, deve-se ter bastante cuidado nestas interpretações, pois a disponibilidade de nutrientes para as plantas é determinada tanto pela capacidade do solo de fornecer nutrientes, como pela capacidade da planta em utilizá-los (BRUN, 1979).

Os povoamentos florestais, no Brasil, têm sido implantados em solos nos quais normalmente o P é um dos nutrientes mais limitantes ao crescimento vegetal (VOGEL, 2002). É o macronutriente exigido em menores quantidades pelas plantas e ao contrário do que acontece nos solos, tem alta mobilidade, transferindo-se rapidamente de tecidos velhos para regiões de meristema ativo (RAIJ, 1991). O potássio é um elemento muito abundante em rochas e solos e tem alta mobilidade no solo, bem maior que o P, sendo mais facilmente lixiviado (RAIJ, 1991). Segundo Binkley (1986), o K move-se com facilidade na planta, catalisa reações e regula o potencial osmótico. Porém, o excesso de K provoca deficiência de Mg e Ca e dificulta a absorção desses elementos (MALAVOLTA et al., 2000).

O cálcio é um elemento que faz parte da estrutura de diversos minerais do solo e na planta estimula o desenvolvimento das raízes e folhas, forma compostos que fazem parte da parede celular e reforça a estrutura das plantas. No entanto, a adição de grandes quantidades de Ca e Mg em solos deficientes de K ou a aplicação de Ca em solos deficientes em Mg, pode causar um desequilíbrio nutricional e reduzir o crescimento das culturas (LOPES, 1989). Os teores de Ca e Mg estão estreitamente relacionados com a acidez do solo (TOMÉ JR, 1997). O

magnésio é um elemento proveniente da intemperização de rochas que contêm minerais como biotita, dolomita e clorita. Solos geralmente contêm menos Mg que Ca, pois o Mg é mais solúvel, sujeito à maior lixiviação e está em menor quantidade no material de origem do que o Ca. É um elemento constituinte da clorofila e consequentemente está envolvido ativamente na fotossíntese. Participa também no metabolismo do fosfato, na respiração e na ativação de vários sistemas enzimáticos nas plantas (LOPES, 1989).

Apesar de o *Pinus sp.* ser considerado pouco exigente quanto à fertilidade do solo, níveis diferenciados de produtividade foram observados quando se plantaram espécies em condições edáficas distintas (BALLONI, 1984). Diversos autores estudaram os fatores do solo e suas relações com o estado nutricional e a produtividade dessas espécies e observaram interdependência entre essas variáveis (MENEGOL, 1991; REISSMANN; WISNIEWSKI, 2005). Problemas nutricionais em *Pinus elliotti*, foram apontados por Goor (1965), com destaque para a alta correlação entre a qualidade do sítio e a soma de bases trocáveis do solo e o teor de P. Foi observada resposta positiva do teor de P e K no crescimento inicial de *Pinus taeda* (VOGEL, 2003). Em solos arenosos e de baixa fertilidade, verificou-se que o *Pinus taeda* teve resposta positiva à aplicação de K, Mg e B (SILVA et al., 2003). Em Corrientes, norte da Argentina, Fernández et al. (2000) avaliaram a aplicação de doses crescentes de N-P-K em solos “rojos” em *Pinus taeda* aos 34 meses de idade e verificaram diferenças significativas no DAP, altura e volume em relação às doses de N e P, não havendo resposta ao K.

2.4 Impactos do uso do solo nos atributos químicos do solo

A transformação de áreas florestais para culturas agrícolas representa mudanças drásticas nestes ecossistemas, provocando alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (LIMA et al., 2011), sendo estas alterações dependentes de vários fatores, como a cultura implantada e o manejo utilizado, a classe e a fertilidade inicial do solo, o comportamento físico-químico de cada nutriente e suas interações com o meio (MENEZES et al., 2008).

Do ponto de vista edáfico, essas alterações, têm estreita relação com a dinâmica da matéria orgânica e com o ciclo biogeoquímico dos elementos, modificando a capacidade produtiva desses ambientes, naturalmente ligados às

condições de solos ácidos e intemperizados, resultando em crescente interesse no estudo da dinâmica do carbono e de nutrientes em diferentes manejos agrícolas empregados (MAFRA et al., 2008). Nesses locais, o suprimento de nutrientes nas formações vegetais é dependente, em grande parte, da contribuição das substâncias orgânicas, uma vez que a reserva de elementos provenientes dos minerais é reduzida (BROWN et al., 1994).

Deve-se considerar que a dinâmica do carbono, juntamente com os nutrientes minerais, é influenciada por fatores como clima, tipo de solo, cobertura vegetal e práticas de manejo. No caso das espécies florestais, observa-se maior capacidade de ciclagem de nutrientes que as plantas de ciclo anual, em virtude do sistema radicular permanente e profundo que absorve elementos de camadas subsuperficiais, retornando-os à superfície pela deposição de serapilheira (HAAG, 1985).

Os Latossolos naturalmente apresentam limitações químicas devido à baixa fertilidade natural, alta intemperismo, forte acidez e alta saturação por alumínio (STRECK et al., 2002). No estudo de Alvarenga e Davide (1999), sob Latossolos, os autores verificaram que a utilização com reflorestamento de eucalipto com um ano e com 15 anos provocou diminuições significativas nos teores de nutrientes, em relação a área com vegetação de cerrado nativo, principalmente em Ca, K, Mn e saturação por bases, evidenciando que o uso dessas áreas com sistemas agrícolas que não recebem nutrientes de fontes externas resulta numa perda de fertilidade desses solos.

Em seu trabalho, Araújo, Goedert e Lacerda (2007), estudando a qualidade do solo em área de Cerrado nativo, pastagem natural, pastagem cultivada, cultivo convencional com culturas anuais e florestamento de pinus sob Latossolo Vermelho-Amarelo, encontraram menores valores de CTC e de matéria orgânica do solo na camada de 0-5 cm nas áreas utilizadas com pastagem plantada e com florestamento de pinus implantado há 20 anos quando comparados com área de cerrado nativo.

No estudo de Mafra et al. (2008), avaliando os teores de carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas localizadas em Campo Belo do Sul, SC, sendo as áreas: campo nativo; floresta de pinus (*Pinus taeda*) com 12 anos; floresta de pinus com 20 anos (P20); reflorestamento de araucária com 18 anos e mata nativa de araucária, encontraram no reflorestamentos com pinus valores semelhantes de estoques de C orgânico na camada do solo de 0,0-0,40 m em níveis equivalentes

aos de mata e campo, que acidez do solo e os teores de P disponível foram maiores no tratamento de floresta de Pinus com 20 anos, e entre os nutrientes, verificaram-se teores baixos a médios de P disponível e de K, Ca e Mg trocável.

Avaliando o impacto de plantios florestais, nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo de cerrado, Silva et al.(2009), indicaram que, em relação ao cerrado nativo, houve menor teor de matéria orgânica sob pinus e eucalipto, além de decréscimos no pH, nos teores de K, Ca, Mg e na saturação por bases e incremento da saturação por alumínio nos cultivos com pinus e carvoeiro. O estudo concluiu que entre os reflorestamentos avaliados, o plantio de pinus apresentou os maiores impactos negativos sobre a qualidade geral do solo de cerrado.

Estudar as dinâmicas das propriedades dos solos é um processo importante em áreas em que eles são submetidos a diferentes práticas, pois pode indicar alternativas de manejo além de possibilitar estimativas de respostas dos atributos do solo em função de determinadas práticas realizadas (SANTOS et al., 2009) garantindo a contínua sustentabilidade e conservação dos ecossistemas.

2.5 Técnicas estatísticas aplicadas à ciência do solo

2.5.1 Geoestatística

Na ciência do solo, delineamentos estatísticos convencionais são usados com sucesso quando as unidades básicas de amostragem são locadas em áreas pequenas e uniformes quanto aos atributos do solo. Porém, segundo Bishop e Lark (2006), estes requisitos não se aplicam quando é necessária a condução de experimentos ao longo de paisagens heterogêneas. A estatística clássica assume que a variabilidade ao redor da média é aleatória e independente da distribuição geográfica das unidades amostrais. Porém, para Daniels e Nelson (1987), a estatística univariada é pouco recomendada para estudos ambientais, uma vez que avalia o comportamento das variáveis duas a duas.

Neste sentido, o estudo da variabilidade de atributos do solo no espaço, é feito com base na geoestatística, que está baseada na teoria das variáveis regionalizadas (VIEIRA, 2000). Segundo Matheron (1963), o conceito de variáveis regionalizadas é uma função espacial numérica que varia de um local para o outro,

com uma continuidade aparente e cuja variação não pode ser representada por uma função matemática simples.

No estudo da variabilidade espacial, o resultado é obtido pelo ajuste de um modelo estatístico denominado semivariograma que estuda o grau de dependência espacial entre os pontos amostrais distribuídos em um esquema sistemático e referenciado de amostras (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989), e este modelo permite a construção de mapas de isolinhas (VIEIRA, 2000). O semivariograma mostra a medida do grau de dependência espacial entre amostras ao longo de um suporte específico e, para sua construção são usados simplesmente as diferenças ao quadrado dos valores obtidos, assumindo-se uma estacionaridade nos incrementos (LANDIM, 2006). O semivariograma é um gráfico da função semivariância *versus* distância, representado pela seguinte equação 1:

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

em que:

$\gamma(h)$ - valor da semivariância estimada para uma distância h ;

$N(h)$ - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância;

$Z(x_i)$ - valor do atributo Z na posição x_i ; $Z(x_i+h)$ - valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

Para caracterizar a variabilidade de atributos do solo devem-se seguir algumas etapas, segundo Siqueira (2010). Estabelecer a malha amostral, onde a coleta de solo deve ser realizada de forma esquemática, formando grid ou malha de amostragem. Cada ponto amostral deve ser preferencialmente georreferenciados com aparelho GPS e nas amostras devem-se determinar os atributos de interesse em estudo. Nos pontos não amostrados da área estabelece-se a interpolação dos dados, inferindo os valores nas regiões não amostradas da área.

A partir do ajuste, é gerado o semivariograma, que representa a variabilidade dos atributos estudados, permitindo a construção de mapas de isolinhas. Após a construção dos mapas, estes são interpretados por equipamentos com alta tecnologia, o que segundo Cavalcante et al. (2007), permite a aplicação de insumos no local correto e na quantidade exata, promovendo o aumento da produtividade das culturas e diminuindo grandemente o risco de contaminações ambientais, para áreas

cada vez menores e mais homogêneas. No ajuste do semivariograma são estimados os coeficientes (VIEIRA et al., 1983), sendo estes ilustrados na Figura 1.

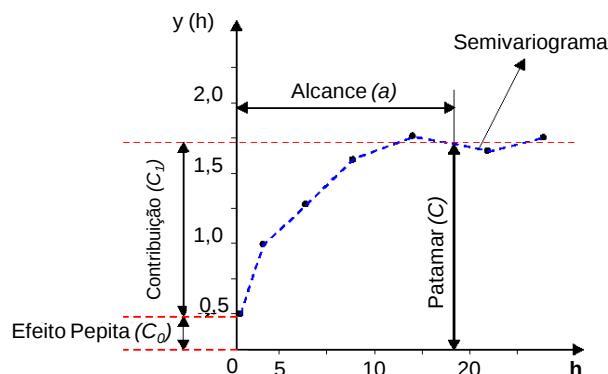
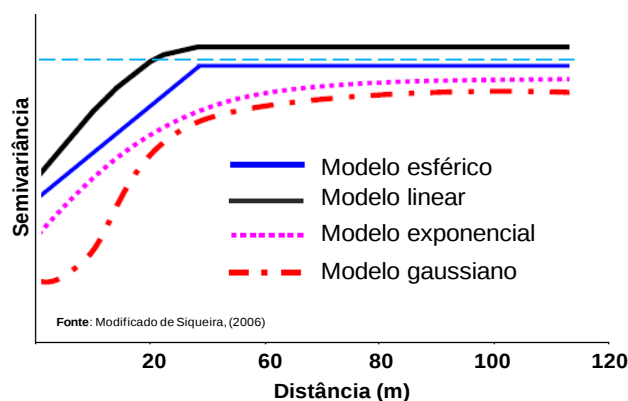


Figura 1. Coeficientes e parâmetros do ajuste do modelo de semivariograma.

Fonte: Oliveira (2013).

Estes coeficientes são: efeito pepita (C_0), patamar (C_0+C_1) e alcance (a). Ele inicia-se C_0 e cresce à medida que a semivariância aumenta. O C_0 é a descontinuidade do semivariograma próximo à origem, e expressa tanto a variabilidade para uma escala menor que o intervalo de amostragem quanto erro de mensurações (CAMBARDELLA et al., 1994; SALVIANO; VIEIRA; SPAROVEK, 1998). O alcance determina a distância em que a propriedade apresenta dependência espacial, ou seja, expressa a distância além da qual as amostras não são correlacionadas (ISSAKS; SRIVASTAVA, 1989). O patamar do semivariograma (C_0+C_1) representa a variância espacial independente, ou seja, dados separados por uma distância onde a semivariância não se modifica, são espacialmente independentes entre si (ISSAKS; SRIVASTAVA, 1989).

O ajuste dos modelos de semivariogramas pode ser realizado de acordo com as características das variáveis analisadas, ao qual apresentam variabilidade específica. Alguns modelos matemáticos mais utilizados na área de ciência do solo são o modelo gaussiano, o esférico, linear e o exponencial. As formas destes modelos são ilustrados na Figura 2.



Fonte: Modificado de Siqueira, (2006)

Figura 2. Modelos de semivariogramas que melhor se ajustam às semivariância dos atributos do solo. Fonte: Oliveira (2013).

Os modelos exponenciais descrevem os fenômenos mais erráticos na pequena escala, enquanto os modelos esféricos descrevem propriedades com alta continuidade espacial, ou menos erráticos na curta distância (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989). Os modelos esféricos e exponenciais (Figura 2) apresentam-se como os modelos teóricos mais comuns aos atributos do solo (TRANGMAR et al., 1985). Segundo Cavalcante et al. (2007), o modelo esférico é o mais citado por pesquisadores como o mais comum em trabalhos relacionados a atributos do solo e da planta.

Dessa maneira, o uso da geoestatística no estudo da distribuição espacial de variáveis ao longo da paisagem, possibilita uma nova interpretação da interação entre atributos do solo e atributos das culturas. Esta técnica ampara decisões estratégicas e complexas em relação ao sistema de manejo adotado (PANOSSO et al., 2008), efeitos ambientais (IZIDORIO et al., 2005) e otimização amostral (MONTANARI et al., 2005). A utilização da geoestatística em dados de atributos do solo é muito importante para a obtenção de estimativas da propriedade do solo, em locais não amostrados, com erro mínimo (GUIMARÃES; AQUINO; OLIVEIRA., 1992).

2.5.2 Análise Multivariada

A estatística multivariada possui maior capacidade de descrever as relações de inter e intradependência nos sistemas agrícolas (MARQUES JÚNIOR, 2009, SIQUEIRA et al., 2010). Esta avaliação é importante na tomada de decisão da atividade agrícola, que normalmente é feita com base em resultados quantitativos de inúmeros atributos do solo, da planta e do clima. Os métodos da estatística multivariada são utilizados com o propósito de simplificar ou facilitar a interpretação de um fenômeno, por meio da análise simultânea de todas as variáveis medidas (JOHNSON; WICHERN, 2002).

A análise multivariada pode ser realizada por alguns métodos, sendo que cada um apresenta um resultado específico. A Análise de agrupamentos (AA) ou Análise de Clusters, tem como objetivo unir e separar o objeto de estudo, no caso específico as variedades de *Pinus caribaceae* em grupos similares ou não. A

finalidade dessa técnica é verificar se há homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre os grupos, objetivando propor classificações. Segundo Valladares et al. (2008), ao se formar grupos pela “AA”, as características dos atributos de um mesmo grupo são semelhantes e diferentes do comportamento de outros agrupamentos. A “AA” constitui uma metodologia numérica multivariada, com o objetivo de propor uma estrutura classificatória, ou de reconhecimento da existência de grupos, objetivando, mais especificamente, dividir o conjunto de observações em um número de grupos homogêneos, segundo algum critério de homogeneidade (REGAZZI, 2001).

Dentre as técnicas multivariadas a análise de componentes principais (ACP) é uma das mais utilizadas pela ciência do solo. Para Siqueira (2010), o objetivo desta análise é encontrar em um conjunto de dados um atributo que seja capaz de explicar parte significativa da variância de toda população amostrada, por meio de correlações lineares. Esse tipo de análise é interessante para a ciência do solo porque pode eleger as variáveis mais significativas nos processos pedogenéticos (THEOCHAROPOULOS et al., 1997). Assim, os atributos do solo analisados com a análise de componente principais (ACP) são agrupados de acordo com suas semelhanças, nas áreas estudadas, que, por sua vez, são separadas por critérios de dissimilaridade, o que levará à formação de grupos.

Em relação a alguns trabalhos como exemplo de uso da ACP, em ciência do solo pode-se citar os estudos de Siqueira (2010), no qual a análise estatística multivariada dos componentes principais mostrou que a suscetibilidade magnética pode ser utilizada como função de pedotransferência para estimar outros atributos do solo. Em seu trabalho, Freitas et al. (2014) avaliaram as alterações dos atributos químicos de um Latossolo submetido a diferentes manejos, sendo eles: mata, cana-de-açúcar e área reflorestada no qual a AA e ACP permitiram identificar a formação de dois grupos, um formado pela mata nativa e o outro pela área em reflorestamento e a área cultivada com cana-de-açúcar. O uso das técnicas de multivariadas mostrou ser eficiente para verificar as similaridades e/ou diferenças das áreas estudadas.

Em outro estudo, Pragana et al. (2012) avaliaram o efeito do plantio direto na alteração das características físicas de Latossolos Amarelos cultivados com soja, onde os autores ao submeter os dados a análise de agrupamento, observaram com que os tratamentos com solos sob plantio direto formaram grupos distintos do campo

natural o que demonstra a alteração dos atributos físicos do solo em relação a mata nativa.

O trabalho de Silva et al.(2015) teve como objetivo identificar, por meio de análises multivariadas, os atributos do solo que melhor explicam a variabilidade espacial na produção da cultura do feijão. Os autores puderam concluir que por meio de técnicas de análise multivariada, em associação com a geoestatística, os resultados facilitaram a compreensão da variabilidade físico-química do solo e que as técnicas de análises multivariadas são eficientes para verificar as similaridades ou as diferenças na variabilidade da produtividade, com base nos atributos químicos e físicos do solo na área estudada.

Estas análises estatísticas multivariadas auxiliam na interpretação dos dados obtidos em trabalhos na área de ciência do solo, contribuindo para a tomada de decisão na aplicação de manejo específico.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em uma área de Pinus no Instituto Florestal, em Batatais, no estado de São Paulo, sendo realizado no ano de 2014. A área de estudo está situada nas coordenadas 20° 53' a 20° 57' S e 47° 34' a 47° 39' W, altitude de 880 m (Figura 3).



Figura 3. Localização e coleta dos pontos amostrados na área de estudo no município de Batatais – São Paulo, obtida via satélite (Google, 2015).

De acordo com o sistema de classificação climática de Köppen, o clima da região é classificado como mesotérmico úmido de verão quente (Cwa), ou seja, verão quente e chuvoso com inverno frio e seco. Apresenta, no mês mais seco, totais de chuvas inferiores a 30 mm, temperaturas médias superiores a 22 °C no mês mais quente e temperaturas menores que 18 °C no mês mais frio. A precipitação média regional varia entre 1100 e 1700 mm anuais (CEPAGRI, 2016).

A área de estudo foi escolhida por sua representatividade na região em importância florestal, com características específicas de Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, com textura média (Figura 3). Essa área foi manejada anualmente, com corte raso dos talhões antigos, espécie de pinus de clima temperado. A área faz parte da Microbacia do córrego da Cachoeira que é uma das áreas de contribuição do manancial de abastecimento de água para a zona urbana de Batatais.

O novo plantio foi realizado em 2011 com espécies tropicais, *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Neste procedimento não foi realizado calagem e gessagem, adubação de plantio e adubações de manutenção.

3.2 Coleta e análise dos dados

Para o mapeamento dos teores de Ca, Mg, P, K, pH, MO e H + Al, as amostras de solos foram coletadas nos pontos de cruzamento de uma malha com intervalos regulares de 36 m, totalizando uma área de 16 hectares com espécies de *Pinus* sendo elas separadas por um carreador em *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, na profundidade de 0,00 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 m, sendo coletadas 123 amostras em cada uma das duas profundidades, totalizando 246 amostras. As coletas foram realizadas entre os meses de novembro e dezembro de 2014 sendo que a área foi estaqueada com auxílio de uma estação total, e posteriormente, os pontos foram georreferenciados com auxílio de um receptor de navegação GPS (Garmin eTrex Legend C, Garmin International Inc., USA), em pontos de controle do lado externo da área para não ocorrer interferência no cadastro de pontos.

As variáveis das plantas estudadas foram a altura das árvores e diâmetro a altura do peito (DAP). Ao redor de cada ponto georreferenciado foram selecionadas nove árvores de *Pinus*, de maneira que cada ponto cadastrado fosse rodeado de forma uniforme, realizando-se as medidas de altura e DAP de cada uma das unidades (9 árvores), utilizando uma suta. Para a obtenção das alturas das árvores de *Pinus*, utilizou-se uma mira topográfica.

Para os atributos químicos do solo, foram determinados os teores de Ca, Mg e K trocáveis, P e a acidez potencial (H+Al) utilizando-se o método da resina trocadora de íons (RAIJ et al., 2001). O pH foi determinado potenciométricamente com um pHmetro de bancada (W3b, Bel, Araras, SP, Brasil) utilizando-se relação 1:2,5 de solo: em água (EMBRAPA, 2011). O carbono total foi quantificado pelo método de Walkley-Black modificado por Yoemans e Bremner (1988) e a matéria orgânica, por sua vez, foi estimada com base no carbono orgânico.

3.3. Análise estatística

Após a obtenção dos dados, a avaliação dos atributos químicos do solo juntamente com a altura, e o DAP das árvores de Pinus foi realizada a análise exploratória dos dados, calculando-se a média, a mediana, o máximo e mínimo, a variância, o coeficiente de variação, o coeficiente de assimetria e curtose e o teste de normalidade. A magnitude do coeficiente de variação (CV) foi avaliada com base no critério de Warrick e Nielsen (1980), que classifica o CV como baixo < 12 %, médio de 12 a 60 % e alto > 60 %. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, no software estatístico Minitab 14 (MINITAB, 2003).

Para a caracterização da variabilidade espacial, utilizou-se a análise geoestatística (MATHERON, 1963; ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). Sob a teoria da hipótese intrínseca, o semivariograma experimental foi estimado pela equação:

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

sendo, $\gamma(h)$ - valor da semivariância para uma distância h ; $N(h)$ - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância; $Z(x_i)$ - valor do atributo Z na posição x_i ; $Z(x_i+h)$ - valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$, são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; a variância estrutural, C_1 ; o patamar, $C_0 + C_1$; e o alcance, a). O efeito pepita é o valor da semivariância para distância zero e representa o componente da variação ao acaso; o patamar, o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; e o alcance, a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas (VIEIRA et al., 1983; TRANGMAR et al., 1985). Na determinação da existência ou não da dependência espacial, utilizou-se o exame de semivariogramas, por meio do programa GS+ (ROBERTSON, 1998). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, considerou-se o maior R^2 (coeficiente de determinação).

Na análise do grau de dependência espacial das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), em que valores de $[(C_0/(C_0+C_1))]$ menores que 25 % são considerados dependência espacial forte, valores de

$[(C0/(C0+C1))]$ entre 25 e 75 % indicam dependência espacial moderada e valores de $[(C0/(C0+C1))]$ maiores que 75 % determinam dependência espacial fraca.

Ao utilizar as variáveis, para distinção dendométrica das variedades encontradas na área, foram empregadas técnicas estatísticas, na tentativa de agrupá-los usando-se os atributos químicos dos solos e as variáveis da planta. Para reduzir os erros devidos às escalas e as unidades das variáveis, os dados foram padronizados com média zero e variância 1. Fez-se a análise de componentes principais (ACP) para obter um conjunto menor de combinações lineares das variáveis que preservassem a maior parte da informação fornecida pelas variáveis originais (SILVA et al., 2010). Esta análise possibilita avaliar qualitativamente as características de cada área e verificar as variáveis que mais estão relacionadas com cada uma delas. O procedimento utilizado para a seleção do número de componentes principais (CPs) baseou-se no percentual cumulativo que explicasse 70% ou mais da variância dos dados (REGAZZI, 2006). Nesses componentes principais selecionados detectaram-se as variáveis mais informativas, ou seja, aquelas que mais se correlacionassem com os CPs, utilizando como critério de escolha de cargas das variáveis ou “loadings”, valores (em módulo) maiores ou iguais a 0,70.

A partir das variáveis mais discriminatórias obtidas pela análise de ACP realizou-se o agrupamento por método hierárquico, usando a distância euclidiana como medida de semelhança entre os registros e o método de Ward, como estratégia de agrupamento. O dendrograma obtido pela análise de agrupamento apresenta no eixo vertical o nível de similaridade, e no eixo horizontal as áreas, formando as classes homogêneas. À medida que o nível de fusão aumenta o nível de similaridade decresce. Portanto, traçar uma linha horizontal no dendrograma significa traçar a Linha *Fenon* como é chamada, o que delimitará o número de grupos a serem formadas. Além de buscar o menor nível de distorção que o processo aglomerativo possa trazer, é preciso ter conhecimento pelo pesquisador de seu objeto de pesquisa ao decidir o ponto a ser efetuado “o corte”.

Todas as análises estatísticas multivariadas foram processadas com auxílio do programa estatístico Statistica 7.0 (STATISTICA, 2005).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Variabilidade Espacial dos atributos químicos do solo em relação as variáveis da planta

Os resultados referentes à análise descritiva nas profundidades estudadas para os valores de P (mg dm^{-3}) Ca, Mg, P, K e H+Al ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) MO (g dm^{-3}) pH em CaCl_2 , altura das árvores (m) e DAP (cm) são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Estatística descritiva do P resina (mg dm^{-3}), K, Ca, Mg e H+Al ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), MO (g dm^{-3}), pH em CaCl_2 , altura (m) e DAP (cm) nas profundidades de 0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, na área de Pinus do Instituto Florestal, Batatais - SP.

Estatística descritiva	Atributos do solo							Atributo da planta	
	-----Profundidade 0,00 - 0,20 m-----							-----	
	P resina	K	Ca	Mg	pH	MO	H+Al	Altura	DAP
Média	4,33	0,48	2,55	1,40	3,87	18,47	56,72	5,88	9,48
Mediana	4,00	0,40	2,00	1,00	3,80	17,00	58,00	5,92	9,61
Mínimo	3,00	0,20	2,00	1,00	3,60	11,00	38,00	3,98	6,06
Maximo	7,00	1,30	6,00	5,00	4,40	37,00	88,00	7,51	12,17
DP	0,92	0,20	0,98	0,94	0,15	4,60	12,71	0,66	1,09
Variância	0,84	0,04	0,97	0,88	0,02	21,15	161,50	0,43	1,19
CV (%)	21,00	42,00	38,00	67,00	3,9	24,9	2,2	11,00	11,00
Assimetria	0,48	1,61	1,80	2,33	1,35	1,39	0,61	-0,43	-0,31
Curtose	0,06	3,10	2,42	4,47	1,42	2,28	-0,21	0,27	0,36
d ¹	0,25*	0,23*	0,41*	0,48*	0,30	0,16*	0,14*	0,07 ^{ns}	0,09 ^{ns}
-----Profundidade 0,20 - 0,40 m-----									
Média	3,13	0,41	2,33	1,13	3,93	13,19	38,08	-	-
Mediana	3,00	0,40	2,00	1,00	3,90	13,00	38,00	-	-
Mínimo	2,00	0,20	2,00	1,00	3,70	8,00	28,00	-	-
Maximo	5,00	1,00	8,00	4,00	4,60	30,00	64,00	-	-
DP	0,80	0,16	0,81	0,43	0,13	2,74	6,66	-	-
Variância	0,63	0,02	0,66	0,18	0,02	7,49	44,29	-	-
CV (%)	25,00	38,00	35,00	38,00	0,03	0,21	0,17	-	-
Assimetria	0,47	1,26	3,91	4,03	1,90	2,28	1,70	-	-
Curtose	-0,02	1,96	20,88	19,60	5,89	11,13	3,62	-	-
d ¹	0,29*	0,26*	0,44*	0,51*	0,30*	0,18*	0,21*	-	-

DAP = diâmetro da altura do peito; d¹ = *significativo a 5% de probabilidade pelo teste Kolmogorov-Smirnov. DP=Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação (%);MO = matéria orgânica; H+Al=acidez potencial.

A maior parte dos atributos da área de Pinus estudada apresentou valores próximos da média e mediana (Tabela 1), indicando distribuição próxima a normal, a qual é considerada aceitável em estudos geoestatísticos (GONÇALVES; FOLEGATTI, 2002). Alguns atributos apresentaram esses valores afastados de zero,

indicando distribuição assimétrica, sendo estes confirmados pelos maiores valores de assimetria, evidenciando que são influenciados por valores extremos (OLIVEIRA et al., 2015a).

Na Tabela 1, observa-se que os valores médios ($\text{mmol}_c\text{dm}^{-3}$) variaram entre 2,55, na profundidade de 0 - 0,20 m e 2,3 em maior profundidade (0,20 - 0,40 m) para o Ca, sendo a concentração encontrada no solo, aceitável dentro da faixa para um crescimento adequado da espécie arbórea. Segundo Adams e Moore (1983), para manter um crescimento ótimo do sistema radicular é necessário haver uma concentração de Ca no solo em torno de 2,5 a 8,0 $\text{mmol}_c\text{dm}^{-3}$ e, para atingir essa concentração, deve-se fazer a aplicação de calcário. Para o bom desenvolvimento radicular, é preciso que o Ca esteja presente no volume de solo, nas profundidades superficiais (0 - 0,20 m) e subsuperficiais (abaixo dos 0,20 m de profundidade), as quais são ocupadas pelas raízes, para que consigam ficar em contato com o nutriente. Nas profundidades subsuperficiais utiliza-se o gesso agrícola, a fim de que o Ca fique disponível para as raízes no solo (PRADO, 2008).

Os teores médios de Mg variaram entre de 1,40 $\text{mmol}_c\text{dm}^{-3}$ na profundidade de 0 - 0,20 m e 1,13 $\text{mmol}_c\text{dm}^{-3}$ na profundidade de 0,20-0,40 m (Tabela 1). No trabalho de Corrêa e Bellote. (2011), os autores trabalharam com *Pinus caribaea* var. *hondurensis* em Latossolos Vermelhos e Neossolo Quartzarênico e Rigatto, Dedecek e Mattos (2004) trabalharam com *Pinus taeda* em Latossolos e Cambissolos de textura média e argilosa, no qual observaram teores baixos a médios de Ca e Mg.

Os valores médios variaram entre 4,3 mg dm^{-3} na camada de 0 - 0,20 m e 3,13 mg dm^{-3} em maior profundidade (0,20-0,40m) para o elemento P e, de 0,48 a 0,41 $\text{mmol}_c\text{dm}^{-3}$ para K nas duas profundidades, 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m respectivamente (Tabela 1). De acordo com a interpretação dos níveis de P e K obtidos do Manual de Adubação, os teores de P no solo encontram-se em nível médio satisfatório (menor ou igual a 3,0 a 7,0 mg dm^{-3} , enquanto que os níveis de K estão pouco satisfatórios (menor ou igual que 0,05 $\text{mmol}_c\text{dm}^{-3}$), considerados baixos. No estudo da cultura de Pinus é pouco estudada a exigência destes elementos, e alguns autores, como Barros e Brandi (1975) e Lopes (1983), concordam que a cultura é pouca exigente em fósforo e potássio, considerando assim uma cultura pouco capaz de provocar desequilíbrios desses nutrientes a longo prazo no solo. Entretanto, vários estudos contrariam estas conclusões, verificando

que variáveis climatológicas podem influenciar na disponibilidade deste elemento. De acordo com Mello et al. (1983), a temperatura pode influenciar a disponibilidade de P, uma vez que, normalmente, solos em regiões de maior temperatura, fixam mais P do que em regiões temperadas.

Para a MO do solo, os valores médios variaram entre 18,47 g dm⁻³ na camada de 0 - 0,20 m e 13,19 g dm⁻³ na camada de 0,20 - 0,40 m. Os valores de matéria orgânica mostraram-se superiores nas camadas superficiais, o que já havia sido observado por Silva et al. (2006). Em plantios florestais, grande parte da MO acumulada na superfície do solo é constituída de material vegetal, transferido pela contínua deposição de serapilheira (MAFRA et al., 2008). Em seu estudo, Santos et al. (2016) avaliaram os teores de MO do solo sob diferentes coberturas vegetais (capoeirão, eucalipto, mata nativa e pinus) e obtiveram como resultados que a área de Pinus foi a que continha menor teor de MO do solo. Estes resultados corroboram com os obtidos por Bertan (2014) que, avaliando a produção e decomposição da serapilheira em sistemas florestais no Sul do Brasil, encontrou menor teor de MOS nas áreas com espécies exóticas (eucalipto e pinus) e maior na área de floresta nativa. Ainda segundo esta autora, a produção anual de serapilheira foi semelhante nas áreas de floresta nativa e *Eucalyptus grandis* e a menor produção foi encontrada na área de *Pinus elliottii*. A serapilheira de Pinus necessita de um tempo maior para a decomposição enquanto que as de Eucalipto e Floresta Nativa apresentam menor tempo de decomposição da serapilheira.

Os teores médios de H+Al variaram 56,72 mmol_c dm⁻³ e 38,08 mmol_c dm⁻³ nas profundidades de 0 - 0,20m e 0,20-0,40m, respectivamente. Altos valores na camada de 0 - 20 m podem ser explicado pelo maior teor de MO observado nessa camada, já que a MO do solo apresenta vários grupos funcionais, especialmente os grupos carboxílicos e fenólicos, que podem liberar o H⁺ que irá compor os íons envolvidos na capacidade de troca de cátions do solo (CTC) acidificá-lo (SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007). Segundo Cardozo (2008), os elevados teores de H+Al são decorrentes dos altos teores de carbono orgânico verificados nas áreas. Para Tibau (1984), a MO é uma fonte de prótons H⁺, que tendem a acidificar os solos.

Os valores médios de pH foram de 3,87 e 3,93, nas profundidades de 0 - 0,20 m e 0,20-0,40 m respectivamente. Segundo Spurr e Burton (1973), geralmente o Pinus aumentam mais a acidez do solo que florestas de folhosas. A ocorrência de pH baixo, em solos sob coníferas, é bem conhecida e a menor retirada de bases do

solo, principalmente do cálcio, por esse grupo de plantas e, obviamente, com menor retorno ao solo deste elemento, via folhagem, tem sido a explicação dada por vários autores (BARROS; BRANDI, 1975; MESSENGER et al, 1978). Em seu trabalho, Brandão e Lima (2002), avaliando o comportamento do pH em áreas sob vegetação de Cerrado e sob floresta de Pinus, puderam observar que a ocupação das áreas de cerrado pelo plantio de Pinus provocou alterações significativas nas condições de acidez do solo, pelo menos até dois metros de profundidade. Nas áreas de Cerrado, os valores de pH variaram entre de 5,0 a 6,0, enquanto que, nas áreas de Pinus o pH variou de 4,0 a 5,0, sendo portanto, consideravelmente mais ácido. Os autores atribuíram essa maior acidez das áreas de Pinus à influência da biomassa (serrapilheira) produzida pela floresta, que em seu processo de decomposição, produz compostos orgânicos mais ácidos.

Os valores médios encontrados para a altura das árvores e DAP foram respectivamente de 5,88 m e 9,78 cm. De acordo com Gomes e Paiva (2004), a altura das plantas e DAP são muito importantes, porém não podem ser avaliados isoladamente para determinar a qualidade das plantas e a capacidade de sobrevivência no campo.

Os coeficientes de assimetria e curtose foram próximos de zero (Tabela 1), para todas as variáveis caracterizando distribuição simétrica. Os resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov indicaram normalidade para alguns atributos nos ambientes estudados (Figura 4). Apesar de a normalidade dos dados não ser exigência da geoestatística, essa permite observar maior precisão das estimativas da krigagem, as quais são com base nos valores médios (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989; CRESSIE, 1991).

Os valores de CV para a classificação de atributos do solo apresentaram baixo ($CV < 12\%$), médios ($12\% < CV < 24\%$) altos valores ($CV > 24\%$), indicando baixa, média e alta variabilidade respectivamente. É importante destacar que os atributos K, Ca, Mg nas duas profundidades e P resina na profundidade de 0,0-0,20 m, apresentaram altos valores de CVs, indicando que estes atributos apresentam alta variabilidade, podendo não ser detectada devido à distância de coleta das áreas. Elevados valores de CV é uma estimativa de maior heterogeneidade dos atributos, indicando maior variabilidade. Para Carvalho, Takeda e Freddi (2003), os resultados de análises de atributos do solo costumam apresentar valores altos de CV. Por outro lado, a altura e o diâmetro altura do peito apresentaram baixa variabilidade com

coeficiente de variação de 11% evidenciando uma baixa heterogeneidade das plantas avaliadas da área de estudo, que podem ter várias causas, dentre as quais merecem destaque: processos de formação do solo, acúmulo e distribuição das partículas do solo em função da forma do relevo (convexo, retilíneo e côncavo) e do fluxo de água na área (ARTUR et al., 2014). A medida estatística CV permite comparar a variabilidade entre amostras de variáveis com unidades diferentes, porém não permitindo avaliar a variabilidade espacial dos atributos do solo e nem seu padrão espacial. Para isto, os atributos foram submetidos à análise geoestatística, que ao apresentarem dependência espacial, este comportamento foi expresso pelos modelos de semivariogramas ajustados (Figura 4).

O modelo de semivariograma esférico ajustou-se melhor a quase todas as variáveis analisadas nas duas profundidades avaliadas, com exceção do fósforo na profundidade de 0,20-0,40 m que o modelo exponencial foi melhor ajustado (Figura 4). O modelo esférico obtido foi similar ao encontrado na maioria dos trabalhos em ciência do solo (CARVALHO; SILVEIRA; VIEIRA, 2002). Esses mesmos autores, afirmam que o modelo matemático esférico é o que predomina nos trabalhos em ciência do solo. Por outro lado, McBratney e Webster (1983) e Siqueira et al., (2010) destacam os modelos esférico e exponencial como aqueles mais utilizados em ciências do solo e ambientais. O ajuste dos modelos aos atributos explica o comportamento dos atributos, uma vez que segundo Isaaks e Srivastava (1989) os modelos exponenciais são mais bem ajustados a fenômenos erráticos na pequena escala, enquanto os modelos esféricos descrevem propriedades com alta continuidade espacial, ou menos erráticos à curta distância.

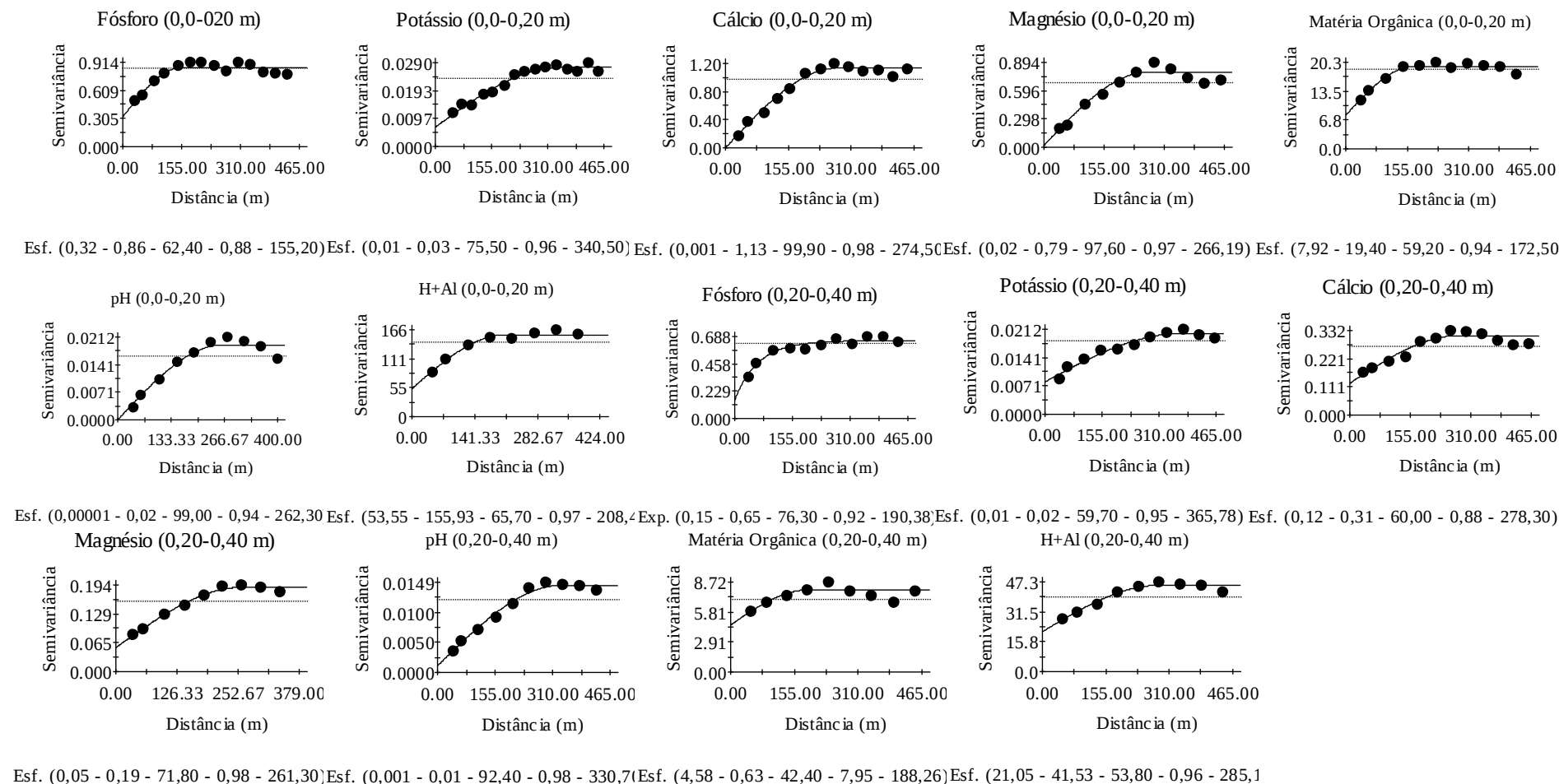


Figura 4. Semivariogramas ajustados aos atributos do solo nas profundidades de 0–0,20 m e 0,2–0,40 m, na área de Pinus do Instituto Florestal, Batatais - SP. Esf. = esférico; Exp. = Exponencial; [modelo (efeito pepita - patamar – $[(C_0/(C_0+C_1)] \times 100 - R^2 - \text{alcance}]$]. $[(C_0/(C_0+C_1)] \times 100$ = grau de dependência espacial; R^2 = coeficiente de determinação.

A análise da relação $[(C_0/(C_0+C_1))]$, do grau de dependência espacial, mostrou que as variáveis em estudo, na sua maioria, apresentaram moderada dependência espacial, com exceção do Ca e Mg na profundidade 0 – 0,20 m e do P na profundidade de 0,20-0,40 m (Figura 4), sendo ideal para essas variáveis, o adensamento da malha de amostragem. Todas as variáveis analisadas apresentaram coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,80 (Figura 4 e 5), ou seja, no mínimo 80% da variabilidade existente nos valores da semivariância estimada são explicadas pelos modelos ajustados (CAMPOS et al., 2007).

O alcance é um parâmetro importante na análise geoestatística, pois expressa a dependência espacial ou distância em que uma variável pode apresentar o mesmo efeito. Os atributos estudados apresentaram diferentes valores de alcance variando de 155,20 a 365,78 e estes foram superiores ao valor de espaçamento (36 m) utilizado na malha de amostragem para as variáveis, indicando que as amostras estão espacialmente relacionadas e, assim, há continuidade na distribuição espacial dos atributos químicos do solo em cultivo de Pinus em relação as propriedades das plantas (Figura 5) o que permite que se façam interpolações (VIEIRA, 2000).

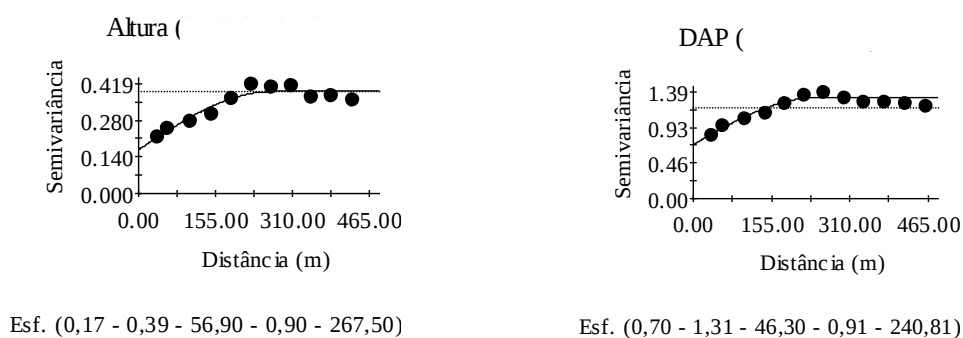


Figura 5. Semivariogramas ajustados as propriedades de planta, na área de Pinus do Instituto Florestal, Batatais - SP. Esf. = esférico; [modelo (efeito pepita - patamar – $[(C_0/(C_0+C_1)) \times 100 - R^2 - \text{alcance}]$]. $[(C_0/(C_0+C_1)) \times 100$ = grau de dependência espacial; R^2 = coeficiente de determinação. DAP: Diâmetro médio a altura do peito.

Pode-se afirmar que quanto maior o alcance menor é a variabilidade, pois, segundo Marques Júnior et al. (2008), o alcance representa a distância em que os pontos amostrais estão correlacionados entre si, ou seja, os pontos localizados numa área de raio igual ao alcance são mais homogêneos entre si. Os mapas de krigagem dos atributos químicos do solo são representados na Figura 6.

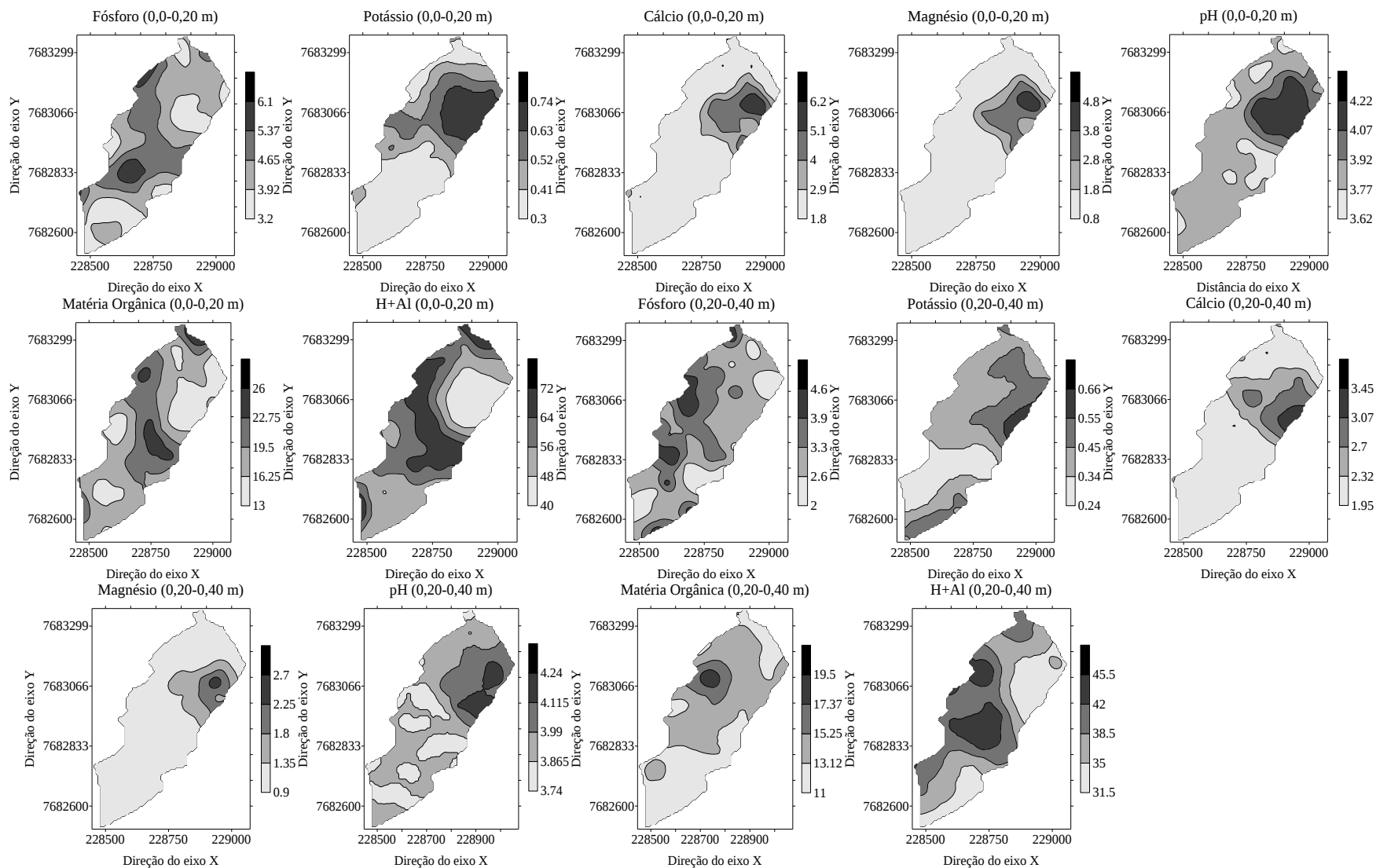


Figura 6. Distribuição espacial dos atributos químicos do solo nas profundidades de 0–0,20 m e 0,2–0,40 m, na área de Pinus do Instituto Florestal, Batatais - SP. H+Al= acidez potencial.

Comparando-se as informações dos atributos químicos do solo (Figura 6) com os atributos da planta, nota-se que o crescimento em altura (Figura 7) do povoamento de *Pinus* foi maior em locais com maiores concentrações de Ca, Mg, P e K. O mesmo foi observado em trabalhos de Molina et al. (1987), que analisaram os efeitos desses atributos sobre o crescimento e sobrevivência do *Pinus* e constataram que o fósforo, quando adicionado com o potássio, exerce papel de grande importância no crescimento em altura e produção de matéria seca foliar.

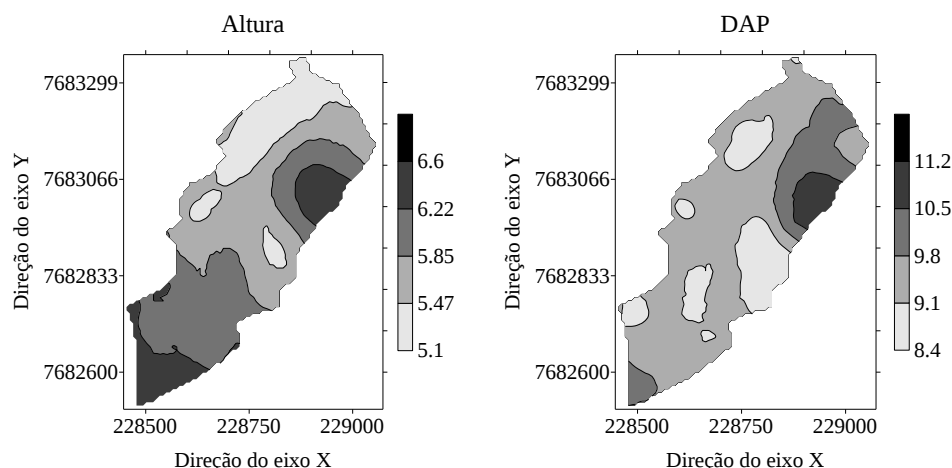


Figura 7. Distribuição espacial dos atributos das plantas nas profundidades de 0–0,2 m e 0,2–0,4 m, na área de *Pinus* do Instituto Florestal, Batatais - SP. DAP = diâmetro da altura do peito.

Os maiores teores de Ca, Mg e K ficaram concentrados nas regiões altas e planas da área. Nas regiões onde os valores desses nutrientes foram menores foram em regiões de divisores de água, ou seja, onde a declividade da área foi maior (Figura 6), o que indica uma perda de nutrientes em decorrência do fluxo de água da região estudada, e conseqüentemente, influenciou diretamente no desenvolvimento das plantas, onde estas apresentaram menor altura e DAP, em relação as plantas localizadas nas regiões planas da área.

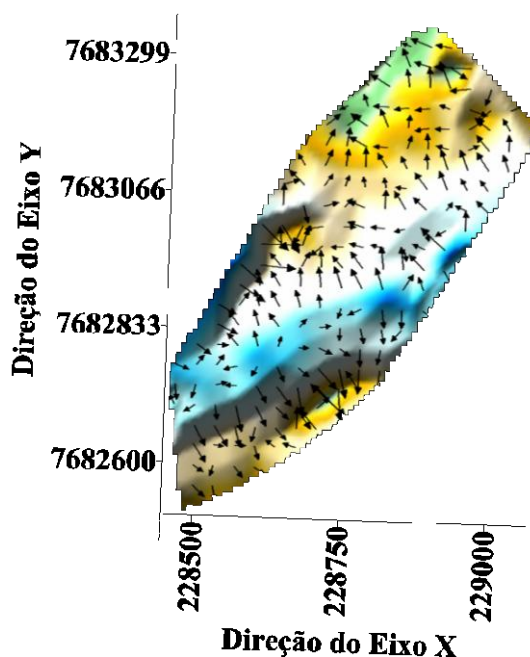


Figura 8. Modelo de elevação digital na área de Pinus do Instituto Florestal, Batatais, SP.

4.2 Análise multivariada dos atributos do solo e de plantas em função das variedades de Pinus

O desenvolvimento das variedades de Pinus quanto aos atributos químicos do solo e da planta são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios dos atributos químicos do solo e das propriedades da planta, nas variedades de *Pinus caribaceae* nas profundidades de 0–0,20 m e 0,20–0,40 m, na área do Instituto Florestal, Batatais - SP.

Variedades de <i>Pinus</i> <i>caribaceae</i>	Atributos do solo							Atributos da planta	
	MO	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Altura	DAP
	g/dm ³	CaCl ₂			mmol _c dm ⁻³			m	cm
-----Profundidade 0,0–0,10 m-----									
<i>Bahamensis</i>	18,2	4,0	4,3	0,6	3,2	1,9	53,0	5,7	9,8
<i>Hondurensis</i>	18,7	3,8	4,4	0,4	2,1	1,0	59,5	6,0	9,3
-----Profundidade 0,20–0,40 m-----									
<i>Bahamensis</i>	13,8	4,0	3,1	0,5	2,7	1,3	36,6	----	----
<i>Hondurensis</i>	12,7	3,9	3,1	0,4	2,1	1,0	39,2	----	----

A fim de caracterizar a interação, entre os atributos químicos do solo e as propriedades da planta com as variedades estudadas da espécie de *Pinus caribaea*, foi utilizado as análises de componente principal e de cluster.

Com a análise de componentes principais (ACP) foi possível identificar as variáveis com maior potencial discriminatório para cada espécie estudada. As três primeiras componentes principais foram necessárias para explicar a variância total, para as duas profundidades avaliadas, devido estas componentes apresentarem elevados autovalores, e explicarem mais de 70% da variância total dos dados (HAIR, 2005), conforme Tabela 3. Segundo Kaiser (1958), as CPs que apresentam autovalores superiores a 1 (um) podem ser utilizadas para uma ordenação bidimensional dos acessos e das variáveis. Autovalores inferiores à unidade não dispõem de informação relevante.

Tabela 3. Autovalores e % da variância dos dados pela Análise dos Componentes Principais para os atributos do solo e da planta, nas profundidades de 0 - 0,2 m e 0,20-0,40 m na área de Pinus do Instituto Florestal, Batatais - SP.

Componente	Autovalores	% dos Autovalores	% Cumulativas dos Autovalores
----- Profundidade 0,0 - 0,20 m-----			
1	4,30	48,88	48,88
2	1,66	18,50	64,38
3	1,30	14,53	81,91
----- Profundidade 0,20 - 0,40 m-----			
1	3,48	38,67	38,67
2	1,80	20,01	58,68
3	1,29	14,40	73,08

A correlação entre as variáveis e as componentes principais permitiram caracterizar as variáveis que mais discriminaram a diferenciação das espécies. Quanto ao percentual de variância explicada pelas CPs, verifica-se que, as três primeiras componentes são responsáveis por 81,91% da variância total na profundidade de 0 - 0,20 m (Tabela 2) e 73,08% para a profundidade de 0,20-0,40 m. Em seus trabalhos, Loss et al. (2009), Silva et al. (2009) e Kummer et al. (2010) encontraram valores de variância acima de 70% em atributos do solo, sendo esses valores atribuídos a variabilidade destes atributos.

Os autovetores apresentados na Tabela 4 correspondem às principais componentes e podem ser considerados como uma medida da relativa importância de cada variável, em relação às componentes principais. No caso em questão, os coeficientes dos atributos ou seus pesos acima de 0,7, independentemente se positivos ou negativos, foram destacados. Conforme Araújo (2008), Freitas et. al

(2015), Oliveira et. al (2015) que detectaram as variáveis mais informativas, ou seja, aquelas que mais se correlacionassem com os CPs, utilizaram como critério de escolha de cargas das variáveis ou “loadings”, valores (em módulo) maiores ou iguais a 0,70.

Tabela 4. Correlação entre cada componente principal e as variáveis analisadas para os atributos do solo e da planta, nas profundidades de 0 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 m, na área de Pinus do Instituto Florestal, Batatais - SP.

Atributos	Componente principal					
	-----Profundidade 0,0-0,20 m-----			-----Profundidade 0,20-0,40 m-----		
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
pH	-0,944110	-0,033865	-0,167663	-0,888835	0,095125	-0,280321
Matéria Orgânica	0,487854	-0,771342	-0,032260	0,031238	0,818678	0,316503
Fósforo	0,305140	-0,714845	-0,125916	0,213416	0,770753	0,202037
Potássio	-0,730886	-0,233886	-0,247974	-0,710934	0,320395	0,145652
Cálcio	-0,850024	-0,342358	-0,289901	-0,841057	0,391642	-0,163688
Magnésio	-0,874368	-0,247725	-0,285802	-0,856889	0,239344	-0,239250
Acidez potencial	0,768991	-0,516392	-0,025374	0,707842	0,716304	0,317707
Altura da planta	-0,514323	-0,207919	0,748563	-0,517175	-0,393132	0,722252
DAP	-0,547548	-0,290030	0,728846	-0,574403	-0,281985	0,736415

Valores em negrito são os mais discriminatórios; CP1: componente principal 1; CP2: componente principal 2. CP3: componente principal 3

De acordo com a Tabela 4, todas as variáveis explicaram ou contribuíram para a variância total dos dados sendo o pH, P, Ca, Mg, e H+Al na primeira componente principal; MO e P na segunda componente principal; e DAP e altura das plantas na terceira componente principal na profundidade de 0 - 0,20 m e na profundidade de 0-20-0,40m. No estudo de Linhares e Ponzoni (2001), os atributos DAP e altura da planta foram os que mais contribuíram na discriminação dos ambientes.

Analisando a Figura 9, é possível observar uma aproximação das variedades *bahamensis* no terceiro e quarto quadrantes do gráfico Biplot e no primeiro e segundo quadrantes do gráfico uma maior junção da variedade *hondurensis*. Nota-se que as variáveis com maior poder discriminatório (correlação com as variáveis com maiores pesos) para a variedade *bahamensis* foram o Ca, Mg, K, pH, DAP e altura da planta em ambas as profundidades avaliadas. Esses atributos estão intimamente relacionado com a altura e o DAP, com exceção do pH, já observados na análise de variabilidade espacial, no qual, maiores teores desses nutrientes

indicam maior crescimento e desenvolvimento das plantas. Enquanto que para a variedade *hondurensis* as variáveis com maior poder discriminatório foram a MO, H+Al e P.

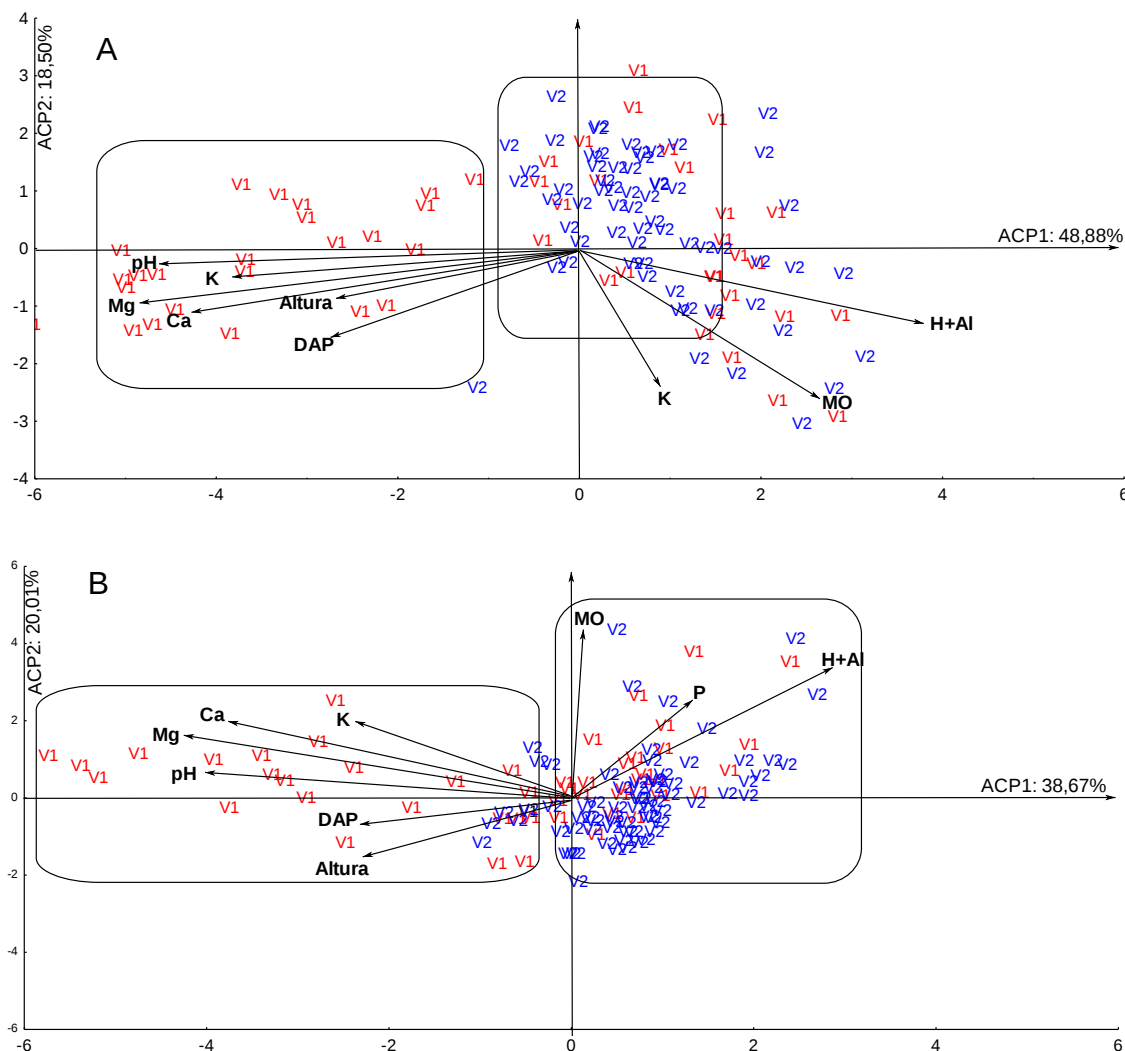


Figura 9. Análise de componentes principais dos atributos químicos do solo e da planta nas profundidades de 0– 0,2 m (A) e 0,2 – 0,4 m, (B) na área de Pinus do Instituto Florestal, Batatais - SP. DAP = diâmetro da altura do peito; V1: Espécie *Pinus caribaea* var. *bahamensis*; V2: Espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

A partir dos atributos com maiores poderes discriminatórios, realizou-se a análise de agrupamento. Com esta análise, foi possível observar a separação das espécies (Figura 10A), e das variáveis (Figura 10B), as quais foram agrupadas com base no grau de semelhança em grupos homogêneos como pode ser observado no gráfico biplot (Figura 9). Cada vez que se obtém variação expressiva dos valores de distância euclidiana entre as variáveis, para o conjunto, é considerada uma possível

divisão de grupos das variáveis e das espécies. Os números no eixo vertical, 40 para a Figura 10A e 100 para a Figura 10B representam a distância euclidiana e, no eixo horizontal, as árvores que geram os grupos. A definição dos grupos foi feita pelo traçado de uma linha paralela ao eixo horizontal. Foi admitido um corte na distância de ligação de 25 (Figura 10A) e de 40 (Figura 10B), que permitiu uma divisão clara de dois grupos. Isso indica que, com o uso conjunto dos atributos químicos, foi possível ordenar os dados em dois grupos, englobando os dados das variedades estudadas: Grupo 1, *Pinus caribaea var. bahamensis*; e Grupo 2, *Pinus caribaea var. hondurensis*

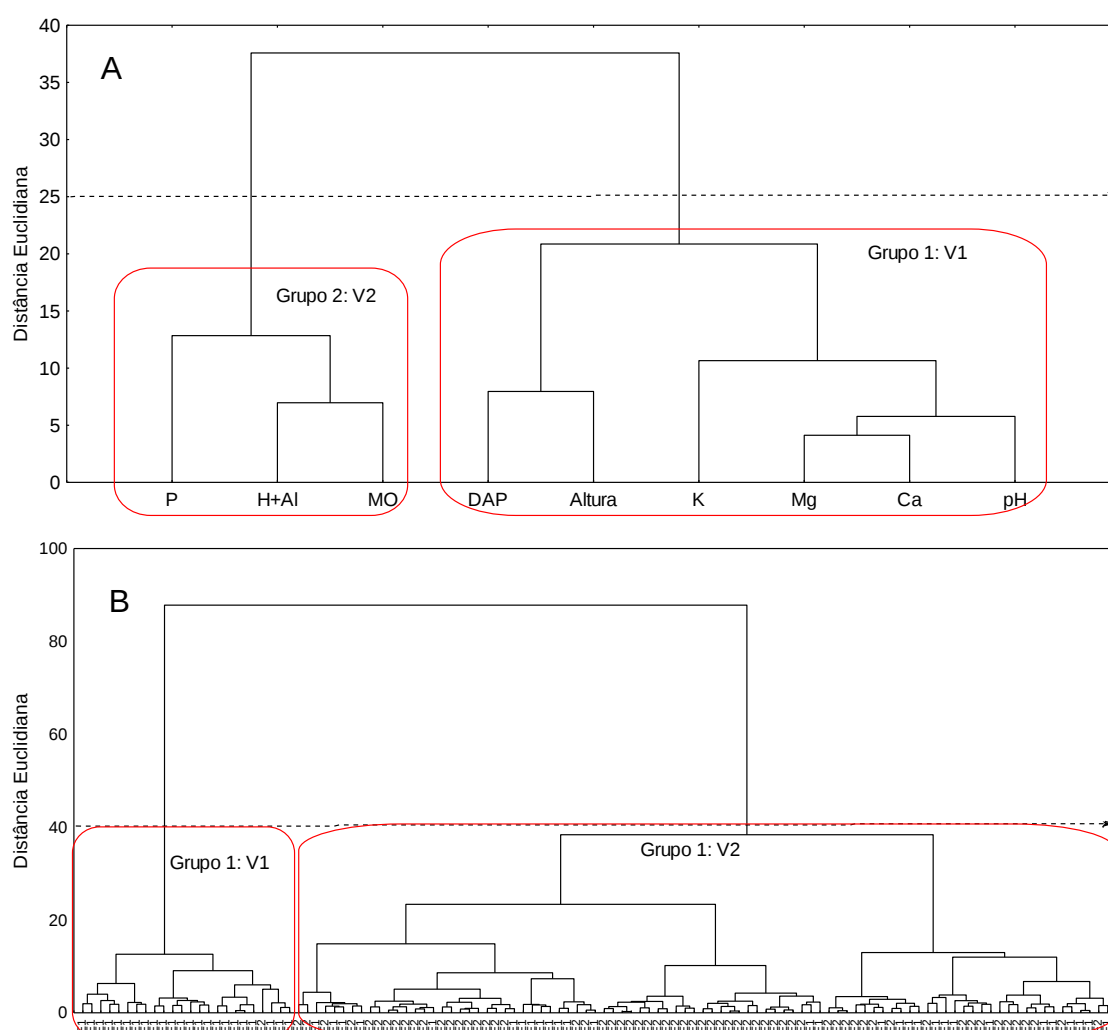


Figura 10. Dendrograma das interrelações resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos com base nos atributos de solo e planta (A) e entre as duas variedades de Pinus (B) na profundidade de 0,0-0,20 m na área do Instituto Florestal, Batatais - SP. DAP = diâmetro da altura do peito; V1: Espécie *Pinus caribaea var. bahamensis*; V2: Espécie *Pinus caribaea var. hondurensis*.

O mesmo foi observado para as variedades analisadas na profundidade de 0,20-0,40m (Figura 11A e 11B). Os números no eixo vertical, 30 para a Figura 11A, e 60, para a Figura 11B, representam a distância euclidiana e, no eixo horizontal, as árvores que geram os grupos. A definição dos grupos foi feita pelo traçado de uma linha paralela ao eixo horizontal. Foi admitido um corte na distância de ligação de 25 (Figura 11A) e de 40 (Figura 11B), que permitiu uma divisão clara de dois grupos. Isso indica que, com o uso conjunto dos atributos químicos, foi possível ordenar os dados em dois grupos, englobando os dados das variedades estudadas: Grupo 1, *Pinus caribaea* var. *bahamensis*; e Grupo 2, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

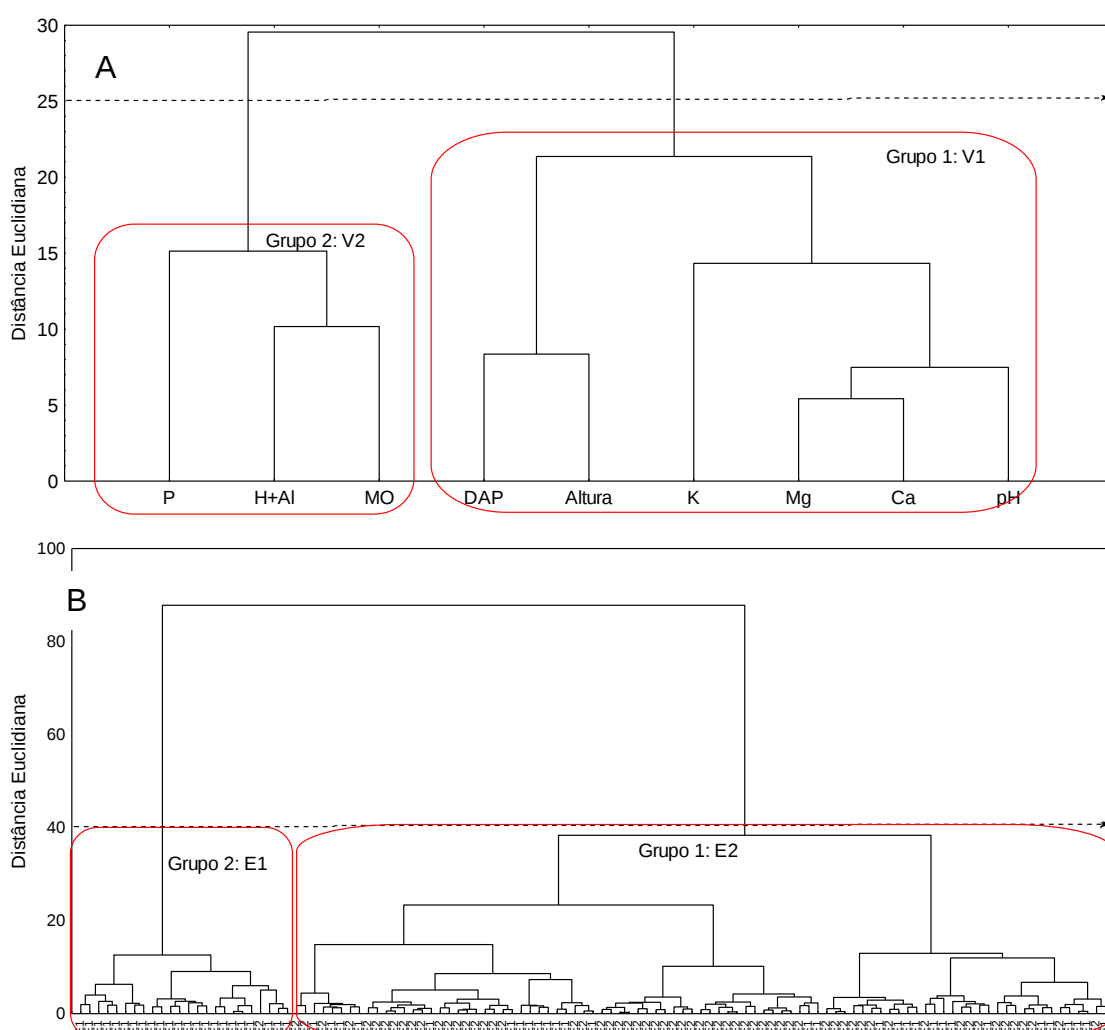


Figura 11. Dendrograma das interrelações resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos com base nos atributos de solo e planta (A) e entre as duas variedades de Pinus (B) na profundidade de 0,20-0,40 m na área do Instituto Florestal, Batatais, SP. DAP = diâmetro da altura do peito; V1: Espécie *Pinus caribaea* var. *bahamensis*; V2: Espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

A formação de dois grupos indica que, provavelmente, foi devido ao fato de apresentarem atributos químicos similares em cada grupo, haja vista a formação de um único agrupamento para cada variedade. Esta informação está de acordo com a afirmativa de Yemefack, Rossiter e Njomgang (2005) de que esta técnica permite agrupar variáveis com características semelhantes entre si e com aumento de variabilidade entre os agrupamentos formados. Segundo Young e Hammer (2000), esse comportamento diferenciado ocorre em função de sua natureza genética, confirmando a premissa da análise de agrupamento, que tem por finalidade reunir, por algum critério de classificação, as unidades amostrais em grupos, de tal forma que exista homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre grupos.

A análise de componente principal e a análise de agrupamento mostraram de forma clara a interação em que os atributos do solo possuem em relação as variedades estudadas. Assim, por meio das técnicas multivariadas foi possível caracterizar quais as variáveis que melhor se relacionaram com cada variedade e quais as que provocaram maior influência nas propriedades das plantas, vindo a confirmar a variabilidade espacial.

5. CONCLUSÕES

Os atributos químicos do solo e as variáveis da planta estudadas apresentaram dependência espacial, ajustando-se aos modelos de semivariogramas esféricos e exponencial.

Para as características do presente estudo, nas regiões de maiores concentrações de Ca, Mg, K e pH as árvores de Pinus apresentaram maior crescimento.

6. REFERÊNCIAS

ABRAF- Associação brasileira de produtores de florestas plantadas (2012). **Estatística**. Disponível em: <[http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ anuarioABRAF-2012.pdf](http://www.abraflor.org.br/estatisticas/anuarioABRAF-2012.pdf)>. Acesso em: 29 mar 2016.

ADAMS, F.; MOORE, B.L. Chemical factors affecting root growth in subsoil horizons of coastal plain soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47,n.1, p. 99-102, 1983.

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agrossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n.4, p. 933-942, 1999.

ARAÚJO, E. A. **Qualidade do solo em ecossistemas de mata nativa e pastagens na região leste do Acre, Amazônia Ocidental**. 2008. 333f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, 2008.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, 2007.

ARTUR, A. G.; OLIVEIRA, D. P.; COSTA, M. C. G.; ROMERO, R. E.; SILVA, M. V. C.; FERREIRA, T. O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo associada ao microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 2, p. 141-149, 2014.

AZEVEDO, A. C., DALMOLIN, R. S.D. **Apostila Didática da Disciplina de Morfologia e Gênese do Solo**. Depratamento de solos – CCR –UFSM. Santa Maria, RS. 1999.

BALLONI, E. A. **Efeitos da fertilização mineral sobre o desenvolvimento do *Pinus caribaea* var. *bahamensis* em solo de cerrado do estado de São Paulo**. Piracicaba, 1984. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1984.

BARNES, R.D.; WOODEND, J.J.; SCHWEPPENHAUSER, M.A.; MULLIN, L.J. Variation in diameter growth and Wood density in six-years-old provenance trials of *Pinus caribaea* Morelet on five sites in Rodhesia. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 28, n.5-6, p. 163-167, 1977.

BARRICHELO, L.E.G. **Estudo das características físicas, anatômicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. E Golf. para a produção de celulose Kraft.** 167 f. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1979.

BARROS, N.F.; R.M. BRANDI. Influência de três espécies florestais sobre a fertilidade de solo de pastagem em Viçosa, MG. **Brasil Florestal**, Rio de Janeiro, v.6, n.21, p.24-29, 1975.

BERTAN, C. R. **Produção e decomposição da serapilheira em sistemas florestais subtropicais no Sul do Brasil.** URI. Erechim, RS. 2014

BINKLEY, D. **Forest nutrition management.** New York: A Wiley-Interscience Publication: Jon Wiley, 1986.

BISHOP, T. F. A.; LARK, R. M. The geostatistical analysis of experiments at the landscape-scale. **Geoderma**, Amsterdam, v. 133, p. 87-106, 2006.

BOGNOLA, I.; RIBEIRO JÚNIOR, P.; SILVA, E.; LINGAU, C.; HIGA, A. Modelagem uni e bivariada da variabilidade espacial de rendimento de *Pinus taeda* L. **Revista Floresta**, v. 38, n. 2, p. 373-385, 2008.

BORUVKA, L.; MLÁDKOVÁ, L.; PENÍZEK, V.; DRÁBEK, O.; VASÁT, R. Forest soil acidification assessment using principal component analysis and geostatistics. **Geoderma**, Amsterdam, v.140, p.374-382, 2007.

BRANDÃO, S.L.; LIMA, S.C. pH e condutividade elétrica em solução do solo, em áreas de pinus e cerrado na chapada, em Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.3, n.6, p.46-56, 2002.

BROWN, S., ANDERSON, J.M., WOOMER, P.L., SWIFT, M.J., BARRIOS, E., 1994. Soil biological processes in tropical agroecosystems. In: Woomer, P.L., Swift, M.J. (Eds.), **The Biological Management of Tropical Soil Fertility**. John Wiley and Sons, Chichester, pp. 15–46.

BRUN, E. T. **Relações entre a altura dominante e fatores de sítio, em povoamento de *Pinus elliottii* Engelm. na região de Ponte Alta do Norte, SC.** 88 f. 1979. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1979.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 58, n.5, p.1501- 1511. 1994

CAMPOS, M.C.C.; FERRAZ, F.B.; FREITAS, E.V.S.; SOUZA, Z.M. Dependência espacial de atributos físicos e hídricos de um Espodossolo da zona da mata de Pernambuco. **Revista Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v.7, n.1, p.84-91, 2007.

CAPITANI, L.R.; SPELTZ, G.E.; BRITO, J.O.; BARRICHELI, L.E.G.A. Potencialidade de resinagem de quatro espécies de *Pinus* tropicais, na região de Sacramento – MG, **Circular Técnica**, IPEF, n. 10, 1980, 10p.

CARDOZO, S. V.; PEREIRA, M. G.; RAVELLI, A.; LOSS, A. Caracterização de propriedades edáficas em áreas sob manejo orgânico e natural na região serrana do estado do Rio de Janeiro. **Semina**, Londrina, v. 29, n. 3, p. 517 – 530, 2008.

CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.8, p.1151-1159, 2002.

CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E.Y.; FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n.4, p.695-703, 2003.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M.C.; SOUZA, M. S.; PEREIRA, G. T.; Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1329-1339, 2007.

CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas aplicadas à agricultura. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br>> Acesso em: 13 fev. 2016.

CORRÊA, R. S. **Efeito dos atributos do solo na produtividade e qualidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis***, 2007.102 f Dissertação (Mestrado em Agronomia) , Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

CORRÊA, R.S; BELLOTE, A.F.J. Attributes and biomass yield from soil attributes and biomass yield from *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 181-187, 2011.

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

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. rev. Viçosa: UFV, 2001. 390p.

DANIELS, R.B.; NELSON, L.A. Soil variability and productivity: future developments, In: BOERSMA, L.L. **Future developments in soil science research**. Madson, Soil Science Society of America, p.279-291, 1987.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 2011. 230p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado do Paraná**. Brasília, 1986. 89 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo do Pinus**. 2005. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivadoPinus/11_importancia_socio_economica.htm>. Acesso em: 17 fev. 2016.

FACCHINELLI, A.; SACCHI, E.; MALLEN, L. Multivariate statistical and GIS based approach to identify heavy metal sources in soils. **Environmental Pollution**, London, v.114, n.3, p. 313-324. 2001.

FERNÁNDEZ, R.; ASPILLAGA, F.R.; LUPI, A.; LOPEZ, E.; PEZZUTTI, R.V.; CRECHI, E.; PAHR, N.; NATIUCK, M.; CORTEZ, M. Respuesta del *Pinus taeda* y la *Araucaria angustifolia* a la adición de N, P y K em la implantación. In: SILVOARGENTINA, 1., 2000, Governador Virasoro. **Anais...** Governador Virasoro, Corrientes, 2000. CD-ROM.

FLORSHEIM, S.M.B. **Curvas de isopropriedades da madeira de árvores de *Pinus Caribaea* var. *bahamensis***. 225 f.. 2010 Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

FOELKEL, C. Os Pinus no Brasil: *Pinus caribaea* e suas três variedades: caribaea, bahamensis e hondurensis. **Pinus Letter**, n. 8, 2008. Disponível em: <<http://www.madeiratotal.com.br/noticia.php?id=8426&volta=noticias.php?cat=19>> Acesso em 14 fev. 2016

FPL. Technology Transfer fact sheet. ***Pinus taeda* L.** USDA Forest Service – FPL–GTR-57, 1988. Disponível em: <<http://www.2.fpl.fs.fed.us/Techsheets/SoftwoodNA/htmlDocs/pinustaeda.html>>. Acesso em 18 de abril 2016.

FRANCIS, J. K. **The Luquillo Experimental Forest Arboretum**. Res. Note SO-358. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 1989. 8 p.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; SOUZA JUNIOR, P. R.; CAMPOS, M. C. C. Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes. **Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 8, n.2, p. 155-164, 2014.

FREITAS L.; CASAGRANDE JC.; OLIVEIRA IA.; CAMPOS MCC.; SANTOS, S.L. Técnicas multivariadas na avaliação de atributos de um Latossolo vermelho submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.10, n.1, p.17-26, 2015.

FREITAS, M.L.M.; SEBBENN, A.M.; MARAIS, E.; ZANATTO, A.C.S.; SOUSA, C.M.R.; LEMOS, S.V.; Parâmetros genéticos em progênies de polinização aberta de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, aos 22 anos de idade. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 103-111, 2005.

GIBSON, G. L. A review of provenance testing of commercially important tropical pines. In: SIMPÓSIO SOBRE SILVICULTURA Y MEJORAMIENTO GENÉTICO DE ESPÉCIES FORESTALES, 1, 1987, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires: CIEF, 1987. p. 29-61.

GOLFARI, L. Coníferas aptas para repoblaciones forestales en el Estado de São Paulo. **Silvicultura**, v. 6, n.único, p. 7-62, 1967.

GOMES, J.N; PAIVA, H.N. **Viveiros Florestais** – propagação assexuada. 3. Ed. Viçosa: UFV, 2014. 116 p.

GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V. Correlação espacial entre retenção de água e textura do solo, para fins de manejo de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.22, n.3, p.296–303, 2002.

GOOR, C. P. van. **Reflorestamento com coníferas no Brasil**: aspectos ecológicos dos plantios na Região Sul, particularmente com *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*. [S.l.]: Ministério da Agricultura, D.R.N.R., Divisão Silvicultura, Seção de Pesquisas Florestais, 1965. Não paginado (Boletim 9).

GREEN, S.J.C.E. **The Caribbean Pine (*Pinus caribaea* var. *bahamensis*): monitoring and ecology, in the Turks and Caicos Islands**. 2011.64 f. Tesis (Master of Science), London, 2011.

GREGORICH, E. G.; GREER, K.J.; ANDERSON, D. W., LIANG, B. C. Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.47, n.3-4, p.291-302, 1998.

GUIMARÃES, E.C.; AQUINO, L.H.; OLIVEIRA, M.S. A variabilidade espacial do pH e da argila dispersa em água em um Latossolo roxo no município de Lavras, MG. **Ciência e Prática**, Lavras, v.16, n.1, p.12-17, 1992.

HAAG, H. P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 144p.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre, Bookman, 2005. 597 p.

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

IZIDORIO, R.; MARTINS FILHO, M. V.; MARQUES JR., J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G.T. Perdas de nutrientes por erosão e sua distribuição espacial em área sob cana-de açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 660-670, 2005.

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York, McGraw-Hill, 1941.281p.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 5. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002.

JUVENAL, T.L.; MATTOS, R.L.G. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.16, p.3-30, 2002.

KAISER, H.F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, New York, v. 23, n.3, p.187-200, 1958.

KÄMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo. In: MELO, V.F., ALLEONI, L. R. F. (Org.). **Química e Mineralogia do Solo**. Ed.Viçosa (MG): Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009, v. I, p. 333-379.

KUMMER, L.; MELO, V. F.; BARROS, Y. J.; AZEVEDO, J. C. R. Uso da análise de componentes principais para agrupamento de amostras de solos com base na granulometria e em características químicas e mineralógicas. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.11, n.6, p.469-480, 2010.

LANDIM, P.M.B. Sobre geoestatística e mapas. **Terra e Didática**, Campinas, v.2, n.1, p.19-33, 2006.

LIMA, S. S.; LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; COSTAS, D. B. Atributos químicos e estoque de carbono e nitrogênio em Argissolo Vermelho – Amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n.1, p. 51- 60, 2011.

LINHARES, C. A.; PONZONI, F. J. Análise multivariada de dados dendrométricos e radiométricos referentes a uma plantação de Pinus. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10, Foz do Iguaçu, 2001. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p.1641-1647.

LOPES, A.S. **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo, ANDA/POTAFOS, 1989. 153p.

LOPES, M.I.M.S. **Influência do cultivo de Pinus sobre algumas características de um Latossolo vermelho-escuro primitivamente sob vegetação de cerrado**. 1983. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1983.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.1, p. 68-75, 2009.

MAFRA, A. L.; GUEDES, S. F. F.; FILHO, O. K.; SANTOS, J. C. P.; ALMEIDA, J. A.; DALLA ROSA, J. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n.2, p. 217- 224, 2008.

MALAVOLTA, E. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2000.

MARQUES JÚNIOR, J. **Caracterização de áreas de manejo específico no contexto das relações solo-relevo**. 2009. 113 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T.; BARBIERI, D.M. Variabilidade espacial de matéria orgânica, P, K e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar por longo período. **Revista Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v.8, n.1, p.125-143, 2008.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, v.58, n.8, p.1246-1266, 1963.

MCBRATNEY , A.B; WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties. **Soil Science**, Baltimore, v.135, n.3, p.177-183, 1983.

MELLO, F. de A.; BRASIL SOBRINHO, M. de O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; COBRA NETO, A.; KIEHL, J. de C. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983. 400 p.

MENEGOL, O. **Índice de sítio e relação entre altura dominante e teores nutricionais das acículas em povoamentos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* no segundo planalto paranaense**. 1991. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1971.

MENEZES, J. M. T.; LEEUWEN, J.; VA LERI, S. V.; CRUZ, M. C. P.; LEANDRO, C. Comparação entre solos sob uso agroflorestal e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.2, p. 893 - 898, 2008.

MESSENGER, A.S., J.R. KLINE.; D. WILDEROTTER. Aluminun biocycling as a factor in soil change. **Plant and soil**, The Hague, v.49,n.3, p.703-709.

MINITAB Inc. **Release 14 for Windows**. State College, USA, 2003.

MISSIO, R.F.; MORAES, M.L.T; DIAS, L.A.S. Efeito do desbaste seletivo sobre a divergência genética em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 73, p. 27-36, 2007.

MOLINA, G.; HERRERO, G.; YERO, L.; SANCHEZ, J.; LOBAINA, B. Efecto de NPK sobre las posturas de *Pinus maestrensis* em viveiro y en campo. **Revista Florestal Baracoa**, La Habana, v.17, n. 2, p.85-96, 1987.

MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, 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, v. 40 n. 1, p. 69-77, 2005.

MORAES, M.L.T.; MISSIO, R.F.; SILVA, A.M.; CAMBUIM, J.; SANTOS, L.A.; RESENDE, M.D.V. Efeito do desbaste seletivo nas estimativas de parâmetros genéticos em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 74, p. 55-65, 2007.

MORO, L. **Exportação de Nutrientes em Povoamentos de *Pinus taeda* L. Baseada em Volume Estimado pelo Sistema Sispinus**. 113 f. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MOURA. V. P. G.; PARCA, M. L. S; SILVA, M. A. Variação da densidade básica da madeira de espécies e procedências de *Pinus* centro-americanos em três locais na região dos Cerrados. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 22-23, p.29-44, 1991.

OLIVEIRA I.A; CAMPOS, M.C.C; MARQUES JUNIOR, J; AQUINO, R.E; TEIXEIRA, D.B; SILVA,D.M.P. Use of Scaled Semivariograms in the Planning Sample of Soil

Physical Properties in Southern Amazonas, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, n.1, p.31-39, 2015b.

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; FREITAS, L.; SOARES, M. D. R. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. *Acta Amazônica*, Manaus, v.45, n.1, 1 – 12, 2015a

OLIVEIRA, I. A. **Caracterização de solos sob diferentes ambientes na região Sul do Amazonas**. 2013. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.

OLIVEIRA, L.P.; PEICHL, B. Solos e conservação. **Manual do técnico florestal**. Apostilas do Colégio Florestal de Irati. Campo Largo. INGRA S. A. 4 vol. 1986.

ORTIZ, J.L.; VETTORAZZI, C.A. ; COUTO, H.T.Z. ; GONCALVES, J.L.M. Relações espaciais entre o potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.72, p.67-79, 2006.

PANOSSO, A. R., PEREIRA, G. T., MARQUES JR., SCALA, N. JR. Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, p.227-236, 2008.

PELISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; SANTOS, V. S. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em povoamento de *Tectona grandis*. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 3, p. 377-384, 2014.

PINTO JR, J.E.; KAGEYAMA, P.Y.; JACOB, W.S. Centro de Conservação Genética e Melhoramento de Pinheiros Tropicais – C.C.G.M.P.T. – Desenvolvimento do programa. **Circular Técnica**, IPEF, n. 51, 1979.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 408 p.

PRAGANA, R. B.; RIBEIRO, M.R.; NÓBREGA, J. C. A.; RIBEIRO FILHO, M. R.; COSTA, J.A. 2012. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.5, p.1591-1600, 2012.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORD, T.H. **Para Entender a Terra**. Tradução Rualdo Menegat et al. 4 Edição. Porto Alegre: Bookman, 2006. 656p.:il.

PRITCHETT, W. L.; ZWINFORD, K. R. Response of slash pine to colloidal phosphate fertilization. **Soil Science of America Proceedings**, Madison, v. 25, n. 5, p. 397-400, 1961.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, 1991. 343p.

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute. 2001. 420 p.

RALSTON, C.W. Recognition and mapping of site types for afforestation. In: FAO Word Symposium on man-made forest and their industrial importance. **Proceedings**. Canberra, 1967. v.1, p.172-87.

REGAZZI, A. J. INF 766 - **Análise multivariada**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Departamento de Informática, 2001. 166p. Apostila de disciplina.

REGAZZI, A. J. **Análise Multivariada, Notas de aula EST 746**. Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, v.2, 2006.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de Pinus. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (4 Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p. 135-166, 2005.

RIGATTO, P. A. **Influência dos Atributos do Solo sobre a Produtividade e a Qualidade da Madeira de *Pinus taeda* para Produção de Celulose Kraft**. 2002. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATTOS, J. L. M. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft. *Revista Árvore*, Viçosa, v.28, n.2, p. 267-273 ,2004.

ROBERTSON, G.P. **GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 1998.152p.

SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 115-122, 1998.

SANSÍGOLO, C. A.; BARREIROS, R. M. Estudo comparativo das madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* para produção de celulose Kraft. In: III CONGRESO IBEROAMERICANO EN CELULOSA Y PAPEL, 2004, Cordoba. **Anais...** CIADICYP, 2004.

SANTOS, A. C.; SALCEDO, I. H. Relevô e fertilidade do solo em diferentes estratos da cobertura vegetal na bacia hidrográfica da represa Vaca Brava, Areia, PB. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n.2, p. 277-285, 2010.

SANTOS, J.R.E.; VIANNA, L.V.; CARVALHO, R. C.F.C.; SANTOS, G.L.; LEMOS, O.L. Avaliação dos teores de matéria orgânica em solos sob diferentes tipos de cobertura florestal. In: V Semana de Engenharia Florestal da Bahia e I Mostra de Pós-Graduação em Ciências Florestais da UESB, 2016, **Vitória da Conquista. Anais eletrônicos...** Vitória da Conquista. Disponível em: <http://www.uesb.br/eventos/seeflor/publicacoes/2016/AVALIACAO%20DOS%20TEORES%20DE%20MATERIA%20ORGANICA%20EM%20SOLOS%20SOB%20DIFERENTES%20TIPOS%20DE%20COBERTURA%20FLORESTAL.pdf>. Acesso em: 02 maio 2016.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. 2. ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566 p.

SCHUMACHER, M.V.; HOPPE, Juarez Martins. **A Floresta e o Solo**. 1º. ed. Porto Alegre: Pallotti, 1999. v. 16000. 83 p.

SEBBENN, A.M.; VILLAS BOAS, O.; MAX, J.C.M.; FREITAS, M.L.M. Estimativa de parâmetros genéticos e ganhos na seleção para caracteres de crescimento em teste de progênies de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, em Assis –SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 279-288, 2010.

SHIMIZU, J.Y.; SEBBENN, A.M. Espécies de *Pinus* na silvicultura brasileira. In: SHIMIZU, J.Y. (Ed.). **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. p. 49-74.

SILVA, E. N. S.; MONTANARI, R.; PANOSSO, A. R.; CORREA, A. R.; TOMAZ, P. K.; FERRAUDO, A. S. Variabilidade de atributos físicos e químicos do solo e produção de feijoeiro cultivado em sistema de cultivo mínimo com irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 2, p. 598-607, 2015.

SILVA, L.G.; MENDES, I.C.; REIS JUNIOR, F.B.; FERNANDES, M.F.; MELO, J.T.; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n.6, p.613-620, 2009.

SILVA, G. R.; SILVA JÚNIOR, M. L.; MELO, V. S. Efeitos de diferentes usos da terra sobre as características químicas de um Latossolo Amarelo do estado do Pará. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 2, p. 151 - 158, 2006.

SILVA, S.A.; LIMA, J.S.S.; XAVIER AC, TEIXEIRA, M.M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v.34, n.1, p.15-22, 2010.

SILVA, H. D. da; BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A.; GOMES, F. S. dos. Adubação mineral e seus efeitos na produção de biomassa em árvores de *Pinus taeda* L. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2003. 1 CD-ROM.

SIQUEIRA, D. S. **Suscetibilidade magnética para a estimativa de atributos do solo e mapeamento de áreas sob cultivo de cana-de-açúcar**. 75 f. 2010.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2010.

SIQUEIRA, D.S.; MARQUES JR., J.; PEREIRA, G.T. The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. **Geoderma**, Amsterdam, v. 155, n.1, p. 55-66, 2010.

SOUZA, D.M.G.; MIRANDA, L.N; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 991p.

SPURR, S.H.; V.B. BURTON, 1973. **Forest Ecology**. New York. The Ronald Press. 571p.

STATISTICA. **Statistica 7.0**. EUA Software. Tucksas: StatSof. Baltimore, 2005. 250p.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Emater/RS – UFRGS, 2002. 126 p.

SUASSUNA, J. A cultura do Pinus: uma perspectiva e uma preocupação. **Brasil Florestal**, n. 29, p.1-9; 1977.

THEOCHAROPOULOS, S. P.; PETRAKIS, P. V.; TRIKATSOULA, A. Multivariate analysis of soil grid data as a soil classification and mapping tool: the case study of a homogeneous plain in Vagia, Viotia, Greece. **Geoderma**, Amsterdam, v. 77, n. 1, p. 63-79, 1997.

TIBAU, A. O. **Matéria orgânica do solo**: matéria orgânica e fertilidade do solo. São Paulo: Nobel, 1984, 172 p.

TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, New York, v.38, n.1, p.54-94, 1985.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos**. 2012. 553 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

USDA FOREST SERVICE - Technology transfer, *Pinus taeda*. Disponível em: <http://www2.fpl.fs.fed.us/TechSheets/SoftwoodNA/htmlDocs/pinustaeda.html> Acesso em: 25 mar. 2016.

VALLADARES, G. S.; GOMES, E. G.; MELLO, J. C. C. B. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; EBELING, A. G.; BENITES, V. M. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de Organossolos e solos afins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.1, p.285-296, 2008.

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

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Oakland, v.51, n.3, p.1-75, 1983.

VOGEL, H. L. M. Crescimento de *Pinus taeda* L. relacionado a doses de N, P e K e sua diagnose nutricional pelo DRIS. **Revista Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 182, 2003.

VOGEL, H. L.M. **Crescimento inicial de *Pinus taeda* L. relacionando a doses de N, P e K e sua diagnose nutricional pelo DRIS**. 2002. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. **Applications of soil physics**. New York, 1980. p. 319-344

YEMEFACK, M.; ROSSITER, D. G.; NJOMGANG, R. Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon, **Geoderma**, Amsterdam, v. 125, n. 1 - 2, p.117 - 143, 2005.

YOEMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.19, n.13, p.1467-1476, 1988.

YOUNG, F. J.; HAMMER, R. D. Defining geographic soil bodies by landscape position, soil taxonomy, and cluster analysis. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, n.3, p.989-998, 2000.