



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**  
**EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA**  
**DOUTORADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**



**ANTONIO LOPES DO BONFIM NETO**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS DO SOLO EM ÁREAS DE  
MONOCULTIVO E EM SISTEMA ILPF NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**BELÉM – PA**  
**AGOSTO 2015**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**  
**EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA**  
**DOUTORADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**



**ANTONIO LOPES DO BONFIM NETO**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS DO SOLO EM ÁREAS DE  
MONOCULTIVO E EM SISTEMA ILPF NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias, área de concentração: Agroecossistemas da Amazônia, para obtenção do título de Doutor.**

**Orientador: Prof. Francisco de Assis Oliveira**

**BELÉM – PA**  
**AGOSTO 2015**

---

Bonfim Neto, Antonio Lopes do

Variabilidade espacial dos atributos do solo em áreas de monocultivo e em sistema iLPF na Amazônia Oriental. / Antonio Lopes do Bonfim Neto. Belém, 2015.

100 f.;il.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias/Agroecossistemas da Amazônia) – Universidade Federal Rural da Amazônia/Embrapa Amazônia Oriental, 2015.

1. Manejo – solo. 2. Fertilidade – solo. 3. Sistemas Agroecossistemas. 4. Multivariada – análise. 5. Geoestatística – análise. I. Título.

CDD -

---



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**  
**EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA**  
**DOUTORADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**



**ANTONIO LOPES DO BONFIM NETO**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS DO SOLO EM ÁREAS DE  
MONOCULTIVO E EM SISTEMA ILPF NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias, área de concentração: Agroecossistemas da Amazônia, para obtenção do título de Doutor.

Aprovado em agosto de 2015.

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Francisco de Assis Oliveira – Orientador**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

---

**Dr. Arystides Resende Silva – 1º Examinador**  
**EMBRAPA - AMAZÔNIA ORIENTAL**

---

**Dra. Célia Maria Braga Calandrini de Azevedo – 2º Examinador**  
**EMBRAPA - AMAZÔNIA ORIENTAL**

---

**Dra. Lívia Gabrit Turbay Rangel Vasconcelos – 3º Examinador**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

---

**Prof. Pedro Silvestre da Silva Campos – 4º Examinador**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

## **AGRADECIMENTOS**

## SUMÁRIO

	<b>RESUMO</b>	
	<b>ABSTRACT</b>	
<b>1</b>	<b>CONTEXTUALIZAÇÃO</b>	<b>9</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>SPATIAL VARIABILITY OF SOIL FERTILITY IN AREAS CULTIVATED WITH GRAINS IN THE REGION OF PARAGOMINAS, PARÁ STATE, BRAZIL</b>	<b>15</b>
	ABSTRACT	15
	RESUMO	15
2.1	INTRODUCTION	16
2.2	MATERIAL AND METHODS	17
2.3	RESULTS AND DISCUSSION	19
2.4	CONCLUSION	26
	REFERENCES	27
<b>3</b>	<b>ANÁLISE MULTIVARIADA APLICADA A VARIAÇÃO ESPACIAL DA FERTILIDADE DO SOLO NO MUNICÍPIO DE SANTARÉM – PA</b>	<b>34</b>
	RESUMO	34
	ABSTRACT	34
3.1	INTRODUÇÃO	35
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	36
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
3.3.1	ANÁLISE FATORIAL	41
3.3.2	ANÁLISE DE AGLOMERADO	49
3.3.3	ANÁLISE DISCRIMINANTE	52
3.4	CONCLUSÕES	55
	REFERÊNCIAS	56
<b>4</b>	<b>VARIAÇÃO ESPACIAL DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA</b>	<b>58</b>
	RESUMO	58
	ABSTRACT	58
4.1	INTRODUÇÃO	59

4.2	MATERIAL E MÉTODOS	61
4.2.1	ÁREA DE ESTUDO	61
4.2.2	DESCRIÇÃO DO SISTEMA	61
4.2.3	PROCEDIMENTO DE CAMPO	62
4.2.4	PROCEDIMENTO LABORATORIAL	62
4.2.5	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA	63
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4.4	CONCLUSÕES	76
	REFERÊNCIAS	77
	<b>CONCLUSÕES GERAIS</b>	

## LISTA DE TABELA

<b>Figura 1</b> – Location map of the agricultural areas sampled in the study.....	18
<b>Figura 2</b> – Frequency distribution of the evaluated attributes: soil pH (a), exchangeable aluminum (b), and base saturation (c) in soils under grain cultivation in the municipality of Paragominas during 2009 and 2010.....	21
<b>Figura 3</b> – Frequency distribution of the evaluated attributes: potassium (a), calcium (b), and magnesium (c) in soils under grain cultivation in the municipality of Paragominas during 2009 and 2010.....	21
<b>Figura 4</b> – Frequency distribution of the evaluated attributes: organic matter (a), available phosphorus (b), and CEC (c) in soils under grain cultivation in the municipality of Paragominas.....	24
<b>Figura 5</b> – Frequency distribution of the evaluated attributes: effective cation exchange capacity (a), and sum of bases (b) in soils under grain cultivation in the municipality of Paragominas.....	26
<b>Figura 6</b> – Localização do município de Santarém, Pará, Brasil.....	37
<b>Figura 7</b> - Representação esquemática da definição das grades de amostragem e coletas das amostras de solo – detalhe das grades de amostragem.....	37
<b>Figura 8</b> - Quadriciclo equipado com GPS e amostrador de solo.....	38
<b>Figura 9</b> – Função discriminante canônica dos pontos amostrais dos três grupos com seus respectivos centróides.....	53
<b>Figura 10</b> – Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos evidenciando a formação de grupos, segundo o conjunto de amostras de solo.	54
<b>Figura 11</b> – Sistema de Integração Lavoura, Pecuária e Floresta da EMBRAPA de Terra Alta – PA com destaque em amarelo e a área de coleta das amostras de solo em vermelho .....	61
<b>Figura 12</b> – Área do Sistema de Integração Lavoura, Pecuária e Floresta onde foi montado o grid para a coleta das amostras do solo.....	62
<b>Figura 13</b> – Histograma dos atributos físicos do solo de um sistema iLPF nas três camadas estudadas.....	65
<b>Figura 14</b> – Boxplot da densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo de um sistema iLPF nas três profundidades estudadas.	67
<b>Figura 15</b> – Boxplot da densidade da partícula do solo de um sistema iLPF nas três profundidades estudadas.....	68
<b>Figura 16</b> – Estacionaridade dos dados dos atributos físicos densidade do solo e porosidade total do solo nos sentidos S-N e W-E.....	69
<b>Figura 17</b> – Estacionaridade dos dados dos atributos físicos macroporosidade, microporosidade e densidade da partícula do solo nos sentidos S-N e W-E.	70

<b>Figura 18</b> – Semivariogramas de superfície dos atributos físicos do solo de um sistema iLPF.....	71
<b>Figura 19</b> – Semivariogramas experimentais modelo ajustado dos atributos do solo de um sistema iLPF.....	73
<b>Figura 20</b> – Mapas de krigagem do atributos físicos do solo de um sistema iLPF.....	75

## LISTA DE FIGURAS

<b>Tabela 1</b> - Descriptive statistics of chemical properties of 1,945 samples during 2009 and 2010 in cultivated soils in the region of Paragominas, Pará state-PA .....	33
<b>Tabela 2</b> - Teste de KMO e Bartlett.....	41
<b>Tabela 3</b> - Resultados dos autovalores para a extração de fatores componentes e variância total explicada pelos fatores.....	42
<b>Tabela 4</b> - Matriz de cargas fatoriais ( $\alpha$ ) após a rotação ortogonal pelo método Varimax.....	44
<b>Tabela 5</b> - Valores dos escores fatoriais originais e padronizados e o índice de fertilidade do solo.....	45
<b>Tabela 6</b> - Planejamento de aglomeração pela ligação de Ward.....	49
<b>Tabela 7</b> - Resultados do teste M de Box.....	52
<b>Tabela 8</b> - Teste de hipótese Lambda de Wilks.....	52
<b>Tabela 9</b> - Classificação pelo método de Ward.....	55
<b>Tabela 6</b> - Estatística descritiva dos atributos físicos do solo de um sistema iLPF: Densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), macroporosidade do solo (MacP), microporosidade do solo (MicP) e densidade da partícula (Dp).....	79
<b>Tabela 7</b> - Parâmetros dos modelos teóricos de semivariância ajustados para os atributos físicos: densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), macroporosidade do solo (MacP), microporosidade do solo (Micp) e densidade da partícula (Dp).....	80

## RESUMO

A intervenção humana na floresta, implica em algum grau de mudança na estrutura e funcionamento do ecossistema, embora algumas intervenções não sejam destrutivas e possam ser sustentáveis por um período razoavelmente longo. Os solos amazônicos parecem particularmente inclinados a rápidos declínios de fertilidade natural. Uma razão para isso é o médio e baixo nível da matéria orgânica do solo, em geral associada à rápida mineralização de carbono e de nutrientes devido às condições favoráveis de umidade durante a maior parte do ano. Os sistemas agroflorestais tem como objetivo otimizar o uso da terra, conciliando a produção florestal com a produção de alimentos, conservando o solo e diminuindo a pressão pelo uso da terra para produção agrícola. O solo sob sistema agroflorestal apresenta menor densidade aparente, maior porosidade, menor resistência à penetração e maior estabilidade de agregados, quando comparado ao mesmo solo sob sistema de plantio convencional. Na agricultura brasileira, atualmente, grandes áreas são consideradas homogêneas; nelas a necessidade média de utilização dos insumos promove o uso de doses iguais de fertilizantes, desconsiderando a variabilidade espacial, podendo sobrecarregar uma gleba que é fértil e não atingir níveis ótimos para uma alta produtividade em outras glebas deficientes. A variabilidade espacial de solos sempre existiu e deve ser considerada toda vez em que a amostragem de campo for efetuada, pois pode indicar locais que necessitam de tratamento diferenciado quanto ao manejo, sem prejuízo para a representatividade, possibilitando maior detalhamento da área. O uso de métodos como análise multivariada e geoestatística provaram ser uma ferramenta fundamental para estudar a variação espacial de atributos do solo e produzir mapas de alta qualidade. Índices de nutrientes do solo tem sido usados para produzir mapas de classificação espacial do solo, a fim de aplicar fertilizantes em locais específicos e estratégicos, o que poderia economizar recursos e evitar potenciais problemas ambientais derivados de super ou sub-aplicações. A teoria fundamental da geoestatística é a esperança de que, na média, as amostras próximas no tempo e espaço sejam mais similares entre si do que as que estiverem distantes. A geoestatística tem-se mostrado de grande utilidade na ciência do solo para caracterizar e estudar a variação espacial de suas propriedades. este trabalho objetivou gerar informações sobre a variabilidades dos atributos do solo utilizando métodos alternativos de análise estatística como a análise multivariada e a geoestatística. Desse modo o trabalho foi dividido em três capítulos: No Capítulo 1 abordamos a problemática do uso de fertilizantes nas culturas de arroz e soja no Nordeste paraense sem levar em consideração a variabilidade espacial da fertilidade do solo. No Capítulo 2 foi feita uma análise da variabilidade da fertilidade de áreas de produção de grãos em Santarém utilizando métodos a análise multivariada e no Capítulo 3, buscou investigar a variabilidade dos atributos físicos do solo em um agroecossistema utilizando a geoestatística.

## ABSTRACT

Human intervention in the forest, implies some degree of change in structure and ecosystem functioning, although some operations are non-destructive and can be sustained for a reasonably long period. Amazonian soils seem particularly inclined to rapid declines in natural fertility. One reason for this is the mid and low level of soil organic matter, generally associated with rapid mineralization of carbon and nutrients due to the favorable moisture conditions during most of the year. Agroforestry systems aims to optimize land use, reconciling forest production with food production, conserving soil and reducing the pressure for land use for agricultural production. The soil under agroforestry has lower density, higher porosity, lesser resistance to penetration and higher aggregate stability, compared to the same soil under conventional tillage. In Brazilian agriculture, currently, large areas are considered homogeneous; them the average need of use of inputs promotes the use of equal doses of fertilizers, disregarding the spatial variability and can overwhelm a plot that is fertile and not reach optimal levels for high productivity in other disabled plots. The spatial variability of soil has always existed and should be considered every time the field sampling is made, it may indicate places that require differential treatment as the management, subject to the representativeness, allowing greater detail the area. The use of methods such as multivariate analysis and geostatistical proved to be a fundamental tool to study the spatial variation of soil properties and produce high quality maps. Soil nutrient indices have been used to produce maps of spatial soil classification, in order to apply fertilizers in specific and strategic locations, which could save resources and prevent potential environmental problems derived from super or sub-applications. The fundamental theory of geostatistics is the hope that, on average, the next samples in time and space are more similar to each other than those who are distant. The geostatistics has proved very useful in soil science to characterize and study the spatial variation of its properties. This study aimed to provide information on the variability of soil attributes using alternative methods of statistical analysis and multivariate analysis and geostatistics. Thus the work was divided into three chapters: Chapter 1 we discuss the problem of fertilizer use in rice and soybean crops in Northeast Pará without taking into account the spatial variability of soil fertility. In Chapter 2 was an analysis of the fertility variability of grain production areas in Santarem using multivariate analysis methods, and in Chapter 3, sought to investigate the variability of soil physical attributes in an agro-ecosystem using geostatistics.

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Qualquer que seja a intervenção humana na floresta, ela implica algum grau de mudança na estrutura e funcionamento do ecossistema, embora algumas intervenções não sejam destrutivas e possam ser sustentáveis por um período razoavelmente longo. As práticas de manejo florestal, como a extração seletiva de madeira, que supostamente causa pouco impacto ao solo, podem ainda representar um impacto considerável às propriedades do solo, incluindo a compactação, erosão e lixiviação (Nepstad et al., 1999).

Os solos amazônicos parecem particularmente inclinados a rápidos declínios de fertilidade natural. Uma razão para isso é o médio e baixo nível da matéria orgânica do solo, em geral associada à rápida mineralização de carbono e de nutrientes devido às condições favoráveis de umidade durante a maior parte do ano. Baixos conteúdos de matéria orgânica no solo implicam baixa retenção de cátions e, conseqüentemente, a suscetibilidade dos solos à lixiviação de nutrientes (Luizão et al., 2009).

Os sistemas agroflorestais tem como objetivo otimizar o uso da terra, conciliando a produção florestal com a produção de alimentos, conservando o solo e diminuindo a pressão pelo uso da terra para produção agrícola.

Aos sistemas agroflorestais tem sido atribuída a melhoria nas propriedades físico-químicas de solos degradados, bem como na atividade de microrganismos, considerando a possibilidade de um grande número de fontes de matéria orgânica.

A sustentabilidade dos sistemas agroflorestais é função das interações do fluxo de energia, da ciclagem de nutrientes e da biodiversidade do sistema. Na avaliação da sustentabilidade, o monitoramento dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo é fundamental.

Segundo Young (1997), as árvores são responsáveis por diversos benefícios ao solo, protegendo-o do impacto das gotas de chuva, mantendo o teor de matéria orgânica e melhorando suas propriedades físicas. O solo sob sistema agroflorestal apresenta menor densidade aparente, maior porosidade, menor resistência à penetração e maior estabilidade de agregados, quando comparado ao mesmo solo sob sistema de plantio convencional (Carvalho et al., 2004).

Uma propriedade intrínseca aos solos é a sua heterogeneidade. Assim, o conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo em determinada área é importante para o refinamento das práticas de manejo e avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental (Cambardella et al., 1994), como é significativa para a definição da intensidade de amostragem do solo com vista à sua caracterização possibilitando, desta maneira, reduzir o erro padrão da média, maximizando a eficiência da amostragem e reduzindo os custos e mão de obra do trabalho.

Na agricultura brasileira, atualmente, grandes áreas são consideradas homogêneas; nelas a necessidade média de utilização dos insumos promove o uso de doses iguais de fertilizantes, desconsiderando a variabilidade espacial, podendo sobrecarregar uma gleba que é fértil e não atingir níveis ótimos para uma alta produtividade em outras glebas deficientes. Como conseqüência, há desbalanço no uso de fertilizantes, comprometendo o rendimento das lavouras e tornando alto o custo de produção. Essa condição pode ocasionar menor produção da área e maior impacto ambiental. Se essa variabilidade espacial de atributos químicos puder ser medida e registrada, essas informações poderão ser usadas para otimizar as aplicações em cada ponto, aumentando a produtividade e diminuindo problemas ambientais (Machado et al., 2007).

Tradicionalmente, os fertilizantes têm sido aplicadas a campos baseados nos resultados de análise do solo, sem considerar a variabilidade espacial. Essa gestão agrícola pode ser ineficiente devido à sub-aplicação ou excesso de aplicação em locais específicos. Sub-aplicação não atingem níveis ótimos de rendimento, considerando que, em excesso de aplicação poderá haver um aumento dos custos e alto risco de poluição ambiental, tais como lixiviamento com altas concentrações de P ou de azoto (N), que podem causar eutrofização da água (Bouma, 1997; Tunney, 2002). Muitos trabalhos foram realizados em solos aráveis para estudar as dependências espaciais de propriedades do solo, mas pouco se sabe sobre as dependências espaciais de propriedades do solo em pastagens de clima temperado (Shi et al., 2000).

A variabilidade espacial de solos sempre existiu e deve ser considerada toda vez em que a amostragem de campo for efetuada, pois pode indicar locais que necessitam de tratamento diferenciado quanto ao manejo, sem prejuízo para a representatividade, possibilitando maior detalhamento da área (Vieira, 2000).

Na metodologia tradicional da amostragem de solo, que não contempla o estudo da distribuição espacial das amostras coletadas, é necessário, por vezes, um grande número de amostras para representar a variabilidade de uma determinada área, a fim de se obter um mapa que represente com fidelidade, o comportamento de cada variável no local. Nessa metodologia, o coeficiente de variação (CV) é o parâmetro que resume a variabilidade do atributo em relação à média, que é fixa, além de não distinguir o número de amostras utilizadas, sua forma nem sua posição espacial, que é exatamente o que discute a geoestatística, adotando uma média móvel, que varia de acordo a distribuição da variável no local (GUIMARÃES, 1993).

O uso de métodos como análise multivariada e geoestatística provaram ser uma ferramenta fundamental para estudar a variação espacial de atributos do solo e produzir mapas de alta qualidade. Índices de nutrientes do solo tem sido usados para produzir mapas de classificação espacial do solo, a fim de aplicar fertilizantes em locais específicos e estratégicos, o que poderia economizar recursos e evitar potenciais problemas ambientais derivados de super ou sub-aplicações (FU et al., 2010).

Segundo Isaaks e Srivastava (1989), a teoria fundamental da geoestatística é a esperança de que, na média, as amostras próximas no tempo e espaço sejam mais similares entre si do que as que estiverem distantes. Para Matheron (1965), é uma função que varia de um lugar a outro no espaço com certa aparência de continuidade. São variáveis cujos valores amostrados estão relacionados com a posição espacial que ocupam, assumindo valores diferentes em diferentes lugares de observação, com certa independência de um lugar a outro.

Assim, são necessários estudos utilizando métodos que dê maior clareza nas investigações da variabilidade dos atributos do solo para um melhor entendimento da sua organização no tempo e no espaço. Na análise simultânea de muitas informações, a estatística multivariada, em especial a análise fatorial, análise de aglomerado, análise discriminante, torna-se a melhor ferramenta, possibilitando obter informações e interpretações que poderiam não ser perceptíveis com o uso da análise estatística univariada. A aplicação de técnicas multivariadas para avaliar as variáveis do solo tem encontrado resultados satisfatórios (Freitas et al., 2014).

A geoestatística tem-se mostrado de grande utilidade na ciência do solo para caracterizar e estudar a variação espacial de suas propriedades. Assim, ao se estudar a

fertilidade de um solo, há de se fazer um levantamento completo da mesma e caracterizar sua variabilidade espacial. Neste contexto, a utilização de variogramas e métodos de interpolação, como a krigagem, definem o grau de dependência no espaço de uma grandeza medida e o domínio de cada amostragem (Manzione et al., 2002).

Diante do exposto, este trabalho objetivou gerar informações sobre a variabilidades dos atributos do solo utilizando métodos alternativos de análise estatística como a análise multivariada e a geoestatística. Desse modo o trabalho foi dividido em três capítulos: No Capítulo 1: “Spatial variability of soil fertility in areas cultivated with grains in the region of Paragominas, Pará state, Brazil/ Variabilidade espacial da fertilidade do solo em áreas cultivadas com grãos na região de Paragominas-PA”, onde descreve a problemática do uso de fertilizantes nas culturas de arroz e soja no Nordeste paraense sem levar em consideração a variabilidade espacial da fertilidade do solo e o risco do uso inadequado desses fertilizantes. No Capítulo 2: “Análise multivariada aplicada a variação espacial da fertilidade do solo no município de Santarém – PA”. Nesse capítulo fez-se uma abordagem utilizando métodos a análise multivariada em um banco de dados de análise de solo oriundo de áreas de produção de arroz e soja no município de Santarém. No Capítulo 3: “Variação espacial dos atributos físicos do solo em sistema integração lavoura-pecuária-floresta”, com a utilização da geoestatística, buscou investigar a variabilidade dos atributos físicos do solo em um agroecossistema em Terra Alta – PA, o que propiciou além da identificação da variabilidade nos diversos atributos físicos, a criação de mapas temáticos mostrando essa variabilidade, o que facilita a visualização e auxiliando na tomada de decisões.

Dessa forma, o estudo busca investigar e responder os seguintes questionamentos: Até que ponto podemos considerar a homogeneidade desses solos num monocultivo? O uso contínuo e prolongado de adubações homogêneas reduzem a variabilidade espacial da fertilidade do solo? Os sistemas agroflorestais podem influenciar a variabilidade dos atributos físicos do solo? Os fatores físicos do solo se correlacionam entre si?

## OBJETIVOS

### **Objetivo Geral**

Utilizar análise multivariada e geoestatística na determinação da variabilidade dos atributos do solo em sistemas de monocultivos e em agroecossistemas.

### **Objetivos específicos**

- Avaliar a variabilidade espacial da fertilidade do solo em sistemas de monocultivo;
- Confirmar a existência de diferenças intra e entre grupos de dados que mostrem alguma semelhança na fertilidade do solo;
- Criar um Índice para avaliar a fertilidade do solo em três áreas de produção de soja e arroz em Santarém;
- Identificar a dependência espacial dos atributos físicos do solo em um sistema que integra lavoura, pecuária e floresta.

### **HIPÓTESES**

A continuidade da homogeneidade dos atributos do solo está condicionada aos fatores endógenos e exógenos do solo;

A variabilidade espacial dos atributos do solo é influenciada pelo manejo do solo com sistemas agroflorestais;

A distância entre os pontos amostrais de uma análise de solo varia de acordo com os atributos, suas correlações e o manejo do solo.

### **REFERÊNCIAS**

BOUMA, J., 1997. **Precision agriculture: introduction to the spatial and temporal variability of environmental quality**. In: Lake, J.V., Bock, G.R., Goode, J.A. (Eds.), Precision Agriculture: Spatial and Temporal Variability of Environmental Quality. Ciba Foundation Symposium 210, Wiley, Wageningen, The Netherlands, pp. 5–17.

CAMBARDELLA, C. A. et al., **Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils**. Soil Science Society of America Journal, v.58, p.1501-1511, 1994.

CARVALHO, R.; Goedert, W. J. e ARMANDO, M. S. **Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, 2004.

MACHADO, L. de O.; LANA, A. M. Q. e QUINTÃO, R. M. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, n. 3, p. 591-599, 2007.

FU, W.; TUNNEY, H. e ZHANG, C. **Spatial variation of soil nutrients in a dairy farm and its implications for site-specific fertilizer application.** Soil and Tillage Research, v. 106, n. 2, p. 185-193, 2010.

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial da umidade e da densidade do solo em um Latossolo Roxo.** 1993. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geostatistics.** New York: Oxford University Press, 1989.

LUIZÃO, F. J. et al. **A Manutenção da Fertilidade do Solo em Sistemas Manejados na Amazônia.** LBA, INPA, Manaus. 32 pp. URL: [http://lba. daac. ornl. gov/amazonia\\_global\\_change/20\\_](http://lba.daac.ornl.gov/amazonia_global_change/20_). 2009.

MANZIONE, R. L.; RODRIGUES, J. B. T. E ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial multivariada na avaliação de parâmetros químicos do solo.** In: BALASTREIRE, L. A. Avanços na Agricultura de Precisão no Brasil no período de 1999-2001. Piracicaba, 2002. 347 p.

MATHERON, G. **Les variables régionalisées et leur estimation** — Une application de la théorie des fonctions aléatoires aux sciences de la nature. Masson, Paris (1965), p. 305.

NEPSTAD, Daniel C. et al. **Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire.** Nature, v. 398, n. 6727, p. 505-508, 1999.

SHI, Z., WANG, K., BAILEY, J.S., JORDAN, C., HIGGINS, A.J., 2000. **Sampling strategies for mapping soil phosphorus and soil potassium distribution in cool temperate grassland.** Precision Agric. 2, 347–357.

TUNNEY, H., 2002. **Phosphorus needs of grassland soils and loss to water.** Agricultural Effects on Ground and Surface Waters: Research at the Edge of Science and Society, International Association of Hydrologic Sciences, Centre for Ecology and Hydrology, vol. 273. IAHS Publ., Wallingford, UK, pp. 63–69.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo.** In: Novais, R. F.; Alvarez, V. H.; Schaefer, C. E. G. R. (eds). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-53.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil management.** 2<sup>nd</sup> ed. Nairobi: CAB Internacional, 1997. 320p.

## 2. Spatial variability of soil fertility in areas cultivated with grains in the region of Paragominas, Pará state, Brazil<sup>1</sup>

### *Variabilidade espacial da fertilidade do solo em áreas cultivadas com grãos na região de Paragominas-PA*

**ABSTRACT:** The application of precision agriculture techniques in the management of soil fertility has optimized the use of fertilizers, enabling more sustainable agricultural systems. In this study, we aimed to assess the spatial variability of soil fertility in areas cultivated with grains in the region of Paragominas, Pará state, Brazil. The study was conducted in 17 farms in 2009 and 2010. We measured 1945 soil samples collected at the 0-0.20 m depth. The following variables were analyzed: pH, V%, m%, sum of bases, K, Ca, Mg, Al, CEC, CEC t, P, and OM. The results were evaluated by means of descriptive statistics and frequency distribution. The soils cultivated with grains presented low acidity; base saturation below 50%; medium to high values of K, Ca and Mg. The levels of available P in the soil were considered low or very low in over 40% of the soil samples analyzed, constituting the most limiting factor to production.

**KEYWORDS:** Soil management, Chemical properties, Crop systems, Precision agriculture.

**RESUMO:** A aplicação de técnicas de agricultura de precisão no manejo da fertilidade do solo tem otimizado o uso de fertilizantes e corretivos, possibilitando maior sustentabilidade aos sistemas agrícolas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da fertilidade do solo em áreas cultivadas com grãos na região de Paragominas-PA. O estudo foi desenvolvido em 17 propriedades agrícolas, nos anos de 2009 e 2010, mensurando 1.945 amostras de solos, coletados na profundidade de 0-0,20 m, para as variáveis pH, V%, m%, soma de bases, K, Ca, Mg, Al, CTC, CTC t, P e MO. Os resultados foram avaliados por meio de estatística descritiva e de distribuição de frequência. Os solos cultivados com grãos apresentaram baixa acidez, saturação por bases abaixo de 50% e teores de K, Ca e Mg com valores de médio a alto. Os teores de P disponível apresentaram níveis considerados baixos e muito baixos em mais de 40% das amostras avaliadas, constituindo-se o fator mais limitante da produção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Manejo do solo, Atributos químicos, Sistemas de produção agrícola, Agricultura de precisão

---

<sup>1</sup> Artigo publicado na *Rev. Cienc. Agrar.*, v. 56, n. Supl.

## 2.1 Introduction

The municipality of Paragominas, which occupies a land area of 1.93 million hectares (IBGE, 2007), is located in the northeast mesoregion of the state of Pará, 320 km from the state capital city - Belém. Important economic activities developed in the Amazon region are concentrated in this area, such as cattle raising, logging, forest management, reforestation, soybean and maize cultivation, and bauxite mining. Since 2000, Paragominas began to stand out in the agricultural scene, especially because of the cultivation of rice, maize and soybean. The territorial expansion in grain production was favored by areas that had been opened as a result of the anthropic action, flat topography, and defined rainfall regime of the region, placing the municipality among the largest grain producers in the state of Pará, with approximately 35,000 hectares of cropland (PINTO et al., 2009).

The soils of this region present large spatial variability of attributes with low natural fertility and predominance of Yellow Dystrophic Latosols. They show strong acid reaction with pH values, sum of exchangeable bases (SB), and contents of exchangeable aluminum ( $\text{Al}^{3+}$ ) ranging from 3.5 to 5.3, 0.2 to 7.9, and 0 to 2.1  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectively (RODRIGUES et al., 2003). The contents of phosphorus (P) and potassium (K) are usually very low, varying from 1 to 7  $\text{mg dm}^{-3}$  and 0.13 to 0.35  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .

For soils with low fertility and variability of attributes, precision agriculture constitutes a set of principles and technologies applied to the management of soil fertility based on the determination of the spatial and time variability associated with agricultural production, leading to increased crop yield, improved environmental quality (PIERCE; NOWAK, 1999), and hence, to greater profitability. In practical terms, it involves the collection and processing of detailed and georeferenced information about the areas of agricultural cultivation, allowing the definition of more efficient management strategies (USERY; POCKNEE; BOYDELL, 1995), especially the rational use of agricultural inputs (MOLIN; MASCARIN; VIEIRA JÚNIOR, 2006; MACHADO et al., 2007).

The starting point has been the collection of georeferenced samples arranged in a sampling grid, so that the results of these analyses can be processed using geostatistics

and, subsequently, interpolated maps representing the spatial variation on the values of each analyzed attribute can be elaborated (EARL; THOMAS; BLACKMORE, 2000; LAMPARELLI; ROCHA; BORGHI, 2001). Based on these maps, it is possible to diagnose specific factors that are limiting to crop yield, and thereby indicate management interventions (AMADO et al., 2007). With the results of the attributes of soil fertility, it is possible to generate accurate maps regarding the supply of fertilizers and correctives in specific amounts for particular parts of the field, according to the changes in the chemical quality of soil from one location to another within the area in question (BALASTREIRE; ELIAS; AMARAL, 1997).

The aim of this study was to evaluate the spatial variability of soil fertility in areas cultivated with grains in the region of Paragominas, Pará state.

## **2.2 Materials and Methods**

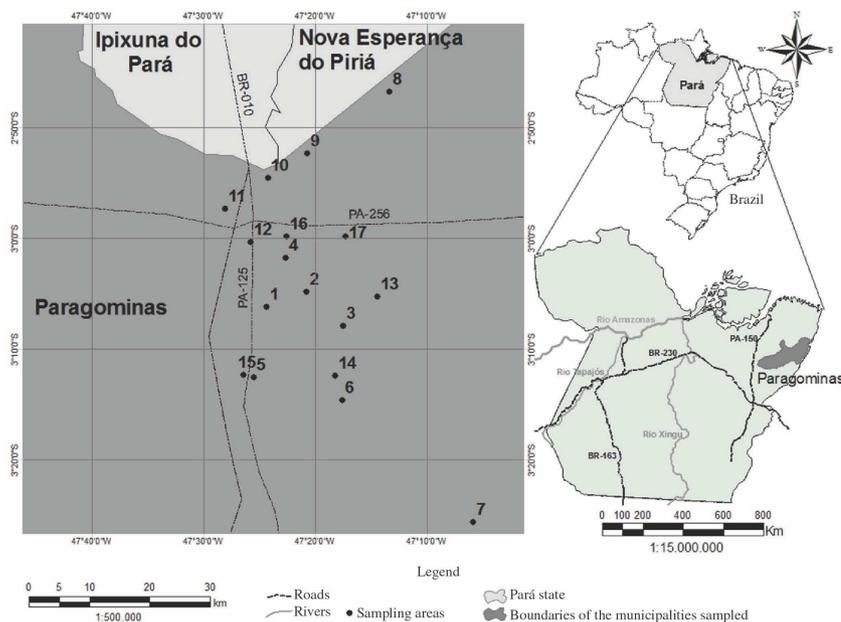
The study was conducted in the central part of the northeast mesoregion of the state of Pará on 17 grain producing farms in the municipality of Paragominas, located at the geographic coordinates  $39^{\circ} 2'$  and  $3^{\circ} 40'$  latitude south and the meridians  $46^{\circ} 27'$  and  $48^{\circ} 50'$  longitude west of Greenwich.

The climate in the region is defined as Aw according to the Köppen classification, which corresponds to a rainy tropical climate with well-defined dry season; the average annual rainfall in the region is 1,802 mm, with average annual temperature of  $26.5^{\circ}\text{C}$  and average air humidity of 82%. The natural vegetation of the area was classified as dense subperennial equatorial forest of low lands and characterized as dense alluvial forest (EMBRAPA, 1988).

The data used were obtained from a database of soil samples collected in 2009 and 2010 in different locations on 17 farms (Figure 1). Soil sampling was carried out in the periods preceding the sowing of soybean, more specifically from September to November, in a total area of approximately 9,725 ha, with 5 ha sampling grids, totaling 1,945 sampling points (composite samples). Each composite sample was formed from 10 single samples collected in a circle around each sampling grid, thus resulting in a

total of 19,450 single samples collected. The study area has been cultivated with grains for approximately 12 years.

Soil sampling was carried out at a depth of 0-0.2 m with the aid of an automated stainless steel screw auger with electric motor, installed on a four-wheeled motorcycle equipped with a GPS device. The samples collected were properly stored and then sent to a specialized laboratory for chemical analysis. Soil pH was determined potentiometrically using the ratio 1:2.5 (soil:water); exchangeable calcium (Ca), magnesium (Mg), and aluminum (Al) were extracted with a solution of potassium chloride (KCl) 1 mol L<sup>-1</sup>; potassium (K) and phosphorus (P) were extracted by Mehlich 1; potential acidity (H + Al) was extracted with a solution of calcium acetate using the methodology proposed by Embrapa (1997); and organic matter (OM) was obtained by colorimetry according Raji et al. (2001). Based on the results of the sorption complex, the values of sum of bases (SB), total cation exchange capacity (CEC T), effective cation exchange capacity (CEC t), base saturation (V), and aluminum saturation (m) were calculated.



**Figure 1.** Location map of the agricultural areas sampled in the study.

The results were submitted to descriptive statistical analysis using the SISVAR software (FERREIRA, 2011). The variability of attributes was classified as low

(CV <12%), medium ( $12 \leq CV \leq 62\%$ ), and high ( $CV > 62\%$ ) (WARRICK; NIELSEN, 1980), and interpreted based on the contents and critical limits reported by Rajj et al. (1996) and CFSEMG (1999).

### 2.3 Results and Discussion

The chemical properties of the soils showed high variability (Table 1), which occurs owing to variation in the level of management practiced by farmers, such as the amount of fertilizer applied and the correction periods of soils. According to the information reported by Rajj et al. (1996) and CFSEMG (1999), the results described indicated levels ranging from very low to high, in the cases of  $Al^{3+}$  and  $K^+$ , respectively. The adequate levels of pH and indicators of soil acidity found were probably resulting from the application of lime and fertilizers on the croplands for approximately 12 years.

The high values of coefficient of variation (CV) are shown in Table 1, in which the smallest amplitude was verified for pH, with 7.7%; and the highest values were found for Al, m, and P, with 172, 184 and 78%, respectively, which was classified as high CV according to Warrick and Nielsen (1980), corroborating the results found by Carvalho, Silveira and Vieira (2002), Silva et al. (2003), and Amado et al. (2009). In the other properties assessed, CV ranged from 20 to 48%.

Contents of P varied from 1.2 to 59.9 mg  $dm^{-3}$ , similar to that observed by Amado et al. (2009). Thus, the use of an average P concentration of 10.3 mg  $dm^{-3}$  as a criterion for the fertility of this nutrient can lead to errors, because according to Bongiovanni and Lowenberg-Deboer (2004), and Corá et al. (2004), the use of a fixed rate for the interpretation of results, based on average nutrient content in areas with high spatial variability, can cause inefficiencies in the assessment.

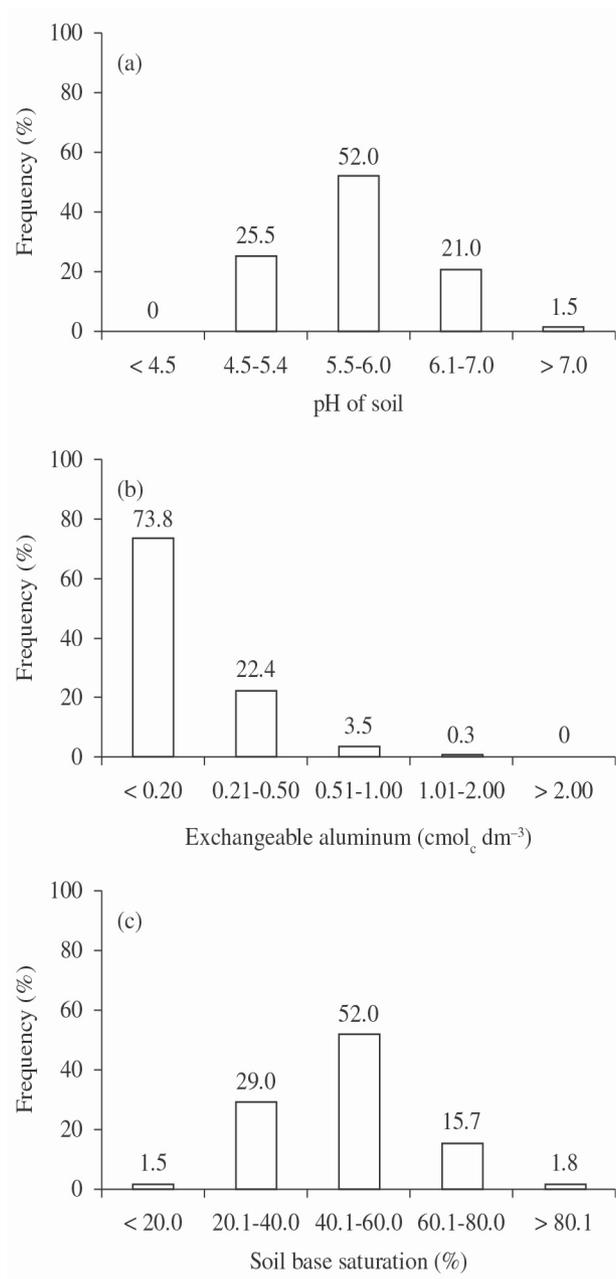
It is possible to observe that 52% of the soil samples collected presented medium acidity (Figure 2a) based on the classification by Rajj et al. (1996) and CFSEMG (1999), which varies between 5.5 and 6.0, that is, most sampled soils presented pH variation within the range considered agronomically ideal for the growing of soybean (SOUZA; LOBATO; MIRANDA, 1993), corroborating the data

reported by El-Husny et al. (2006), who recommended the cultivation of soybean in the microregions of Paragominas and Santarém. The adequate pH values for soybean cultivation occurred owing to soil correction through liming, which increased the values of pH and base saturation, and reduced the concentration of exchangeable  $\text{Al}^{3+}$  in the soils (LEMOS; MORAIS, 2004). Morais and Albuquerque (2006) observed significant increases in pH values in the arable layer of 0-0.20 m soil depth in Latosols of the Paragominas region, Pará state, as a function of quicklime application.

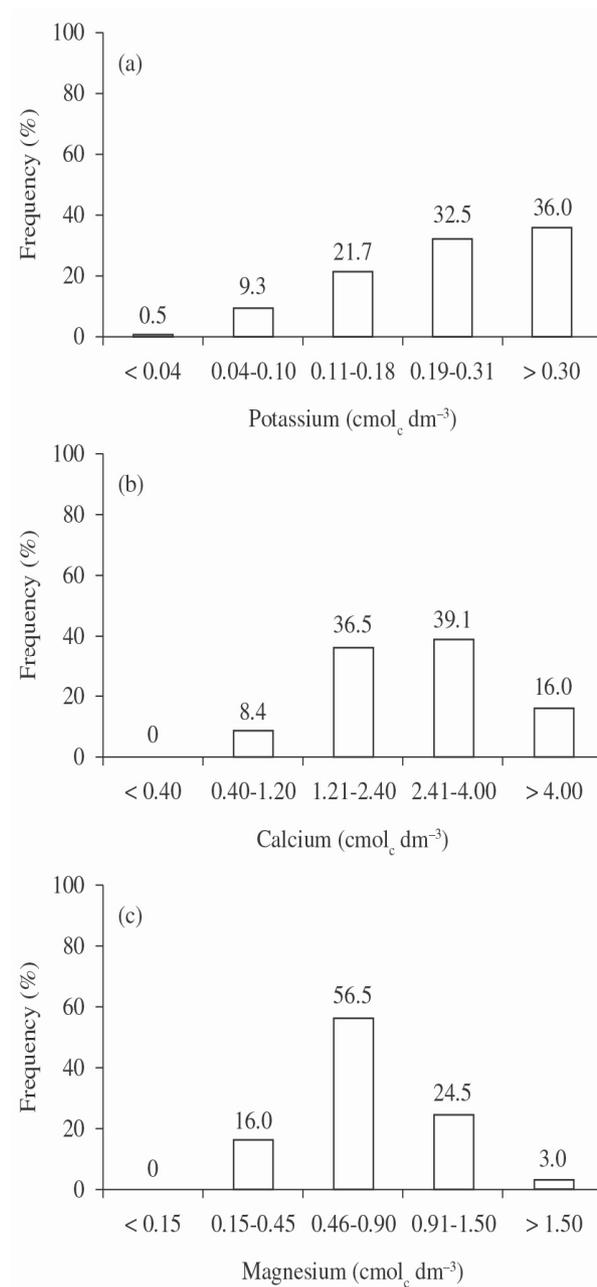
Most of the soil samples showed pH values above those reported by Tedesco et al. (1984) and Pires et al. (2003) for the states of Rio Grande do Sul and Espírito Santo in areas cultivated with soybeans. The pH values found in this study suggest that, before starting the production process, farmers adopted the practice of liming, mainly in order to inhibit limitation in the root system development of crops (PAVAN; BINGHAM; PRATT, 1982), as a result of the toxicity caused by Al (COLEMAN; THOMAS, 1967)

The majority of soil samples (95%) were classified as very low or low with respect to the contents of exchangeable  $\text{Al}^{3+}$  (RAIJ et al., 1996; CFSEMG, 1999). Such values seem insufficient in promoting toxicity to the root system. According to Caires et al. (2002) and Tissi, Caires and Pauletti (2004), values of  $0.8 \text{ cmol dm}^{-3}$  of exchangeable Al in the soil are not able to cause restriction to the root growth of maize cultivated in no tillage system.

Raij et al. (1996) and CFSEMG (1999) classify values of base saturation (V%) as follows: 20.1-40.0%, low; 40.1-60.0%, medium; and 60.1-80.0%, high. Therefore, the values of V% found in this study were considered medium in 52% of the soil samples collected, while 16% were characterized as high (Figure 2a), which favored plant development, taking into account that the base saturation recommended for grain crops is 45-50% for soybean and 60% for maize (SOUSA; LOBATO, 1996; QUAGGIO et al., 1998; FAGERIA, 2001). The combination between the high percentage of samples with high pH values and the low exchangeable Al values indicated efficiency in the practice



**Figure 2.** Frequency distribution of the evaluated attributes: soil pH (a), exchangeable aluminum (b), and base saturation (c) in soils under grain cultivation in the municipality of Paragominas during 2009 and 2010.



**Figure 3.** Frequency distribution of the evaluated attributes: potassium (a), calcium (b), and magnesium (c) in soils under grain cultivation in the municipality of Paragominas during 2009 and 2010.

of liming, highlighting the benefits of liming soils for agricultural use in the region (MORAIS; ALBUQUERQUE, 2006). According to Lemos and Morais (2004), increased V% reduced the availability of Al in the exchange complex in a Latossol in the Redençao region, Pará state, from  $1.21 \text{ cmol dm}^{-3}$  to  $0.09 \text{ cmolc dm}^{-3}$ .

Medium to high values of base saturation are beneficial to maize and soybean crops, as they provide adequate supply of Ca, Mg, improve pH, and enable a proper balance between the basic cations (FAGERIA; STONE; SANTOS, 1999).

Most soil samples (68.5%) presented high to very high contents of  $\text{K}^+$  (Figure 3a). According to Raij et al. (1996) and CFSEMG (1999), values of K in the soil above  $0.31 \text{ cmol dm}^{-3}$  are considered high. The high values of K found in the soil samples occurred due to the residual effect of potassium fertilization, expressed as a function of retention of K in the CEC of soil, because the soils of the region present clayey texture and medium contents of  $\text{K}^+$  in their natural fertility (MORAIS; ALBUQUERQUE, 2006). Furthermore, in acidic soils such as those of the present study, the concentration of potassium in the exchange complex of the soil may increase with liming, owing to the greater capacity of this element to exchange calcium and magnesium than aluminum (TISDALE; NELSON, 1970).

Regarding the levels of  $\text{Ca}^{2+}$ , it is possible to observe that over 90% of the soil samples presented equal and/or above average contents (RAIJ et al., 1996; CFSEMG, 1999), that is, values higher than  $1.21 \text{ cmol dm}^{-3}$  (Figure 3b); while concerning the levels of magnesium, a frequency of more than 80% showed values from 0.46 to  $1.50 \text{ cmol dm}^{-3}$  of  $\text{Mg}^{2+}$ , which according to Raij et al. (1996) and CFSEMG (1999) are classified as medium to high. The high contents of exchangeable Ca and Mg in the soil, combined with the medium contents of pH and base saturation, and with the low contents of exchangeable  $\text{Al}^{3+}$  (Figure 2), stressed the importance of liming to reduce Al toxicity (ERNANI; NASCIMENTO; OLIVEIRA, 1998) and increase the availability (TISSI; CAIRES; PAULETTI, 2004), mainly of macronutrients in the soil (PIRES et al., 2003). Significant effects in increasing the levels of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  with the

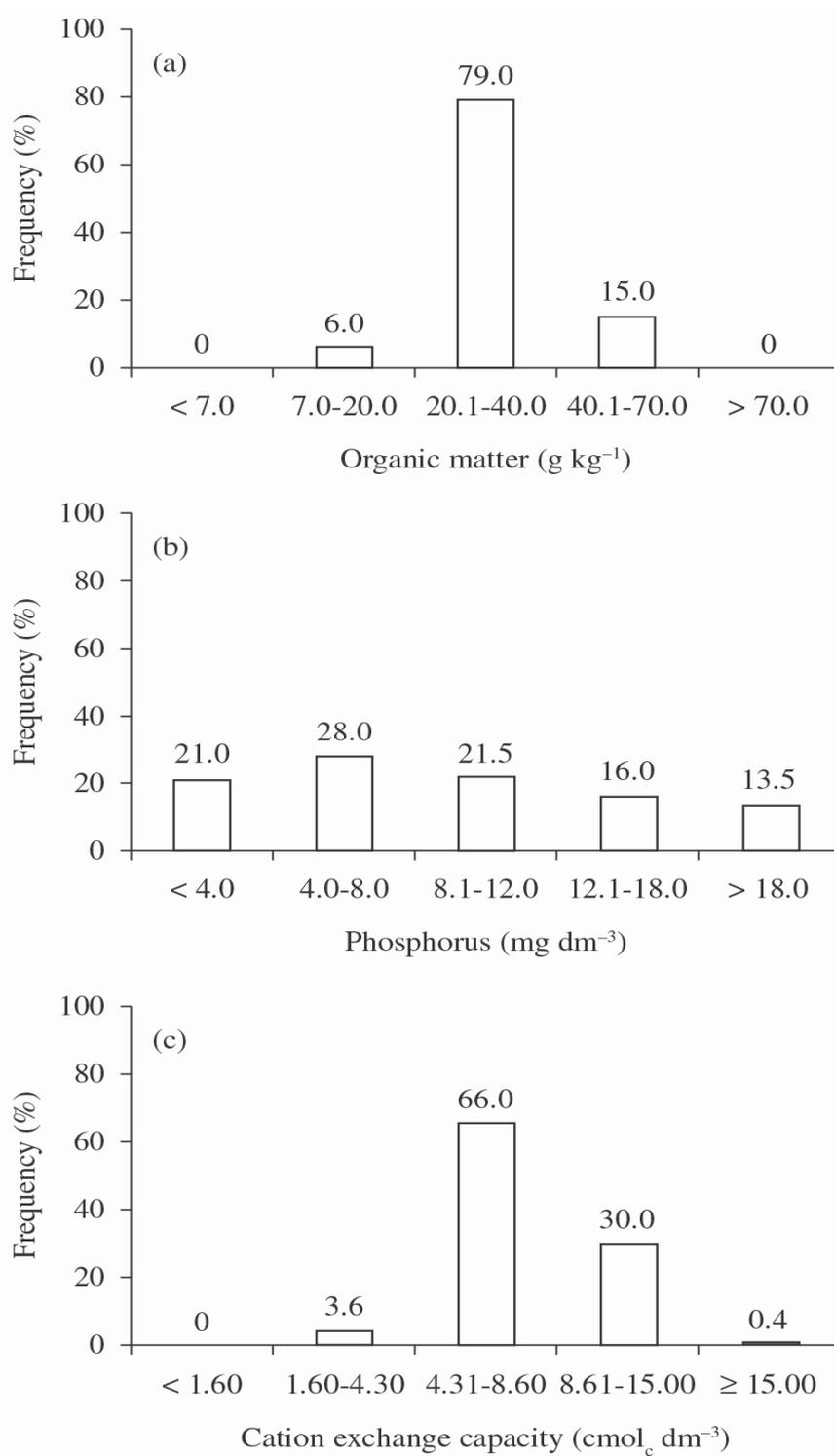
application of lime were also described by Veloso et al. (2001) for the municipality of Paragominas.

Regarding the variable organic matter (OM), the areas assessed presented values ranging from low to high; nevertheless, 75% of samples showed medium values (Figure 4a), considering the figures suggested by Raij et al. (1996) and CFSEMG (1999). The presence of adequate values of OM in the soils is of utmost importance in agriculture, with its numerous benefits and improvements in chemical and physical properties of agricultural soils being reported in the literature (MOREIRA; COSTA, 2004; RALISCH et al., 2008); therefore, OM is an effective indicator to discriminate soil quality (CONCEIÇÃO et al., 2005) and the one that best correlates with crop yield (AMADO et al., 2009).

According to Cerri, Feigl and Cerri (2008), OM is the result of historical balance between input (deposition of organic material) and output (mineralization) of carbon, so that the mismanagement of soil reduces the annual supply of material and implies the reduction of organic matter, and consequently, lower sustainability of agricultural soil (LUIZÃO, 2007; COSTA; FERREIRA; ARAÚJO, 2008). Despite the appropriate values found for this attribute, in the region of Paragominas, the adoption of conservation management practices such as crop rotation, green fertilization, incorporation of crop residues, organic fertilization, and no tillage (PIRES et al., 2003) are still incipient, and the adoption of these practices could greatly increase the contents of organic matter in the soil (CORRÊA; REICHARDT, 1995).

The assessment of phosphorus levels showed that 21 and 28% of the soil samples presented levels considered very low and low (RAIJ et al., 1996; CFSEMG, 1999), which can cause deficiency of P in plants, and the need for management to correct the levels of P through corrective phosphate fertilization in conjunction with maintenance fertilization.

The occurrence of low levels of P can be assigned to natural factors such as its low natural concentration in Latosols (COUTO et al., 1999; LONGO; ESPÍNDOLA, 2000), and to the clayey texture of soils, which according to Morais and Albuquerque (2006),



**Figure 4.** Frequency distribution of the evaluated attributes: organic matter (a), available phosphorus (b), and CEC (c) in soils under grain cultivation in the municipality of Paragominas.

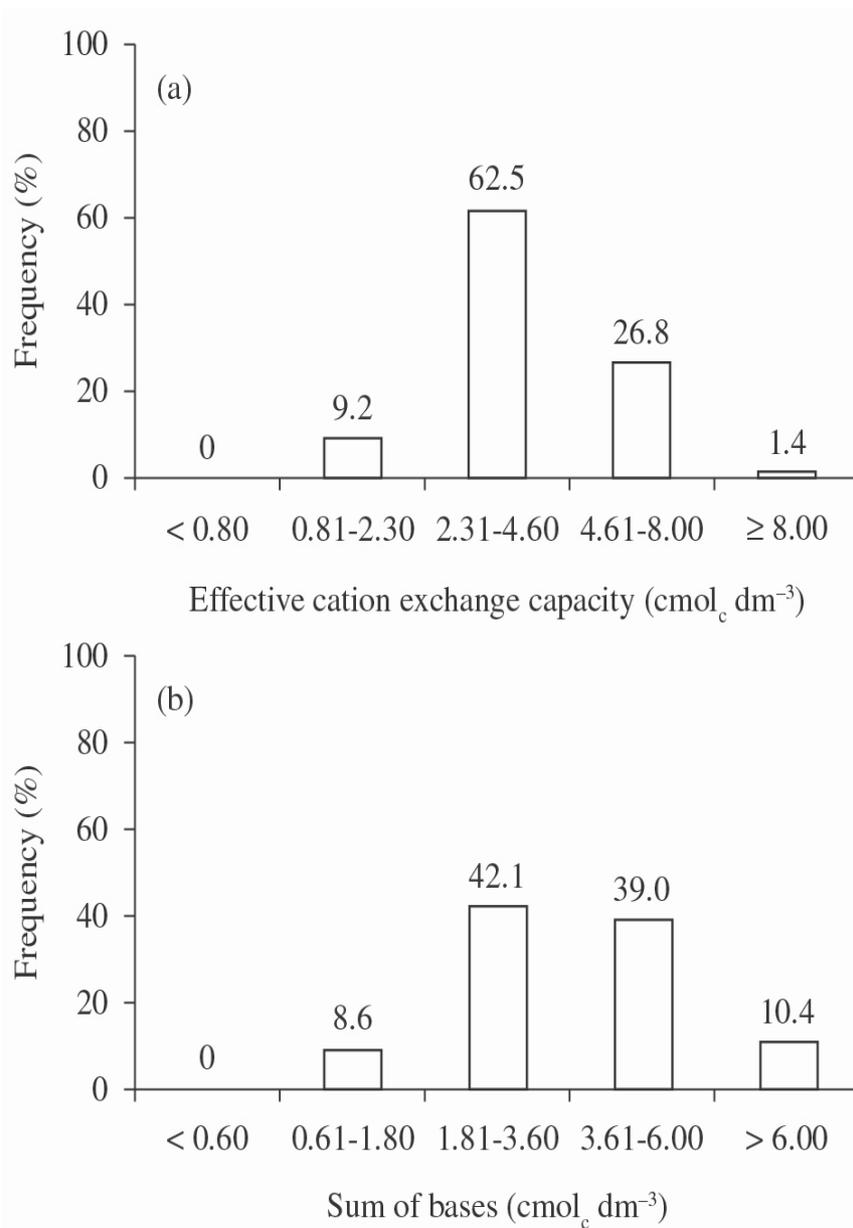
present average P adsorption capacity, around  $430 \text{ kg ha}^{-1}$ . Another possible explanation is the lack of adoption of a direct sowing system, considering that Franchin et al. (2009), in a study of spatial variability of P, verified that 78% of the sites presented high or very high contents of this nutrient, attributed to the benefits of adopting no tillage in areas with more than 10 years of cultivation, with doses of P higher than those exported by the crops. Therefore, the supply of this nutrient is necessary for the adequate development of plants and grain yield (DADALTO; FULLIN, 2001).

With respect to the variable CEC, it was possible to observe (Figure 4c) that 66% of the samples presented average contents and 30% showed contents considered high. This effect occurred possibly owing to the presence of high values of pH in the region, which contributes to the formation of negative electric charges with consequent increase in CEC, or else, because of the high levels of OM found in the present study, considering that it is responsible for 36 to 58% of the CEC and influences the overall balance of electric charges in soil (VERDADE, 1956).

In 62.5% of the samples evaluated, it was possible to verify medium values of effective cation exchange capacity CECt, and 26.8% of sites with good CECt, according to Raij et al. (1996) and CFSEMG (1999) (Figure 5a), these values were close to those shown in Figure 4c for cation exchange capacity, demonstrating the similarity of these variables.

Regarding the sum of bases, it was possible to verify that 42.1 and 39.0% of the areas analyzed showed values considered medium or adequate, respectively (Figure 5b) (RAIJ et al., 1996; CFSEMG, 1999), reinforcing the results obtained in Figures 2 and 3, which demonstrated adequate soil correction in the region of Paragominas.

In general, the soils in the region of Paragominas, Pará state, presented chemical soil properties considered medium to high and low contents of exchangeable Al, which represents a significant improvement in soil fertility over time, allowing high yield in grain cultivation (CAIRES et al., 1998), as shown in the yield reports for maize ( $6.48 \text{ ha}^{-1}$ ) (SOUZA et al., 2002; FERNANDES et al., 2008) and soybean ( $3.51 \text{ ha}^{-1}$ ) (EL-HUSNY et al., 2003; SOUZA et al., 2011).



**Figure 5.** Frequency distribution of the evaluated attributes: effective cation exchange capacity (a), and sum of bases (b) in soils under grain cultivation in the municipality of Paragominas.

## 2.4 Conclusions

The soils cultivated with grains in the municipality of Paragominas, Pará state, present low acidity, base saturation below 50%, and contents of K, Ca, and Mg ranging from medium to high; however, the contents of available P show levels considered low and very low in over 40% of the samples assessed, constituting the most limiting factor to production.

## Acknowledgements

The authors are grateful to the companies 'Missioneira Agrícola' and 'Bunge Fertilizantes' for granting the database of the soil samples used in this article and to the agronomic engineers Victor do Amaral and Luiz Fernando Freiburger for their support and sharing of information.

## References

AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L.; VIANA, J. H. M.; SULZBACH, L. A. S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 8, p. 1101-1110, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000800006>

AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 4, p. 831-843, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000400008>

BALASTREIRE, L. A.; ELIAS, A. I.; AMARAL, J. R. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade da cultura do milho. *Engenharia Rural*, v. 8, n. 1, p. 97-111, 1997.

BONGIOVANNI, R.; LOWENBERG-DEBOER, J. Precision agriculture and sustainability. *Precision Agriculture*, v. 5, p. 359-387, 2004.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, n. 1, p. 27-34, 1998.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, n. 4, p. 1011-1022, 2002.

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*, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000800013>

CERRI, C. E. P.; FEIGHL, B. J.; CERRI, C. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A.

O. (Eds.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2. ed. Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 325-358.

COLEMAN, N. T.; THOMAS, G. W. The basic chemistry of soil acidity. In: PEARSON, R. W.; ADAMS, F. (Eds.). *Soil acidity and liming*. Madison: American Society of Agronomy, 1967. p. 1-41.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. *Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa, 1999. 359 p.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, n. 5, p. 777-788, 2005. [http:// dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000500013](http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000500013)

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004. [http:// dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000600010](http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000600010)

CORRÊA, J. C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um Latossolo Amarelo da Amazônia Central. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 30, n. 1, p. 107-114, 1995.

COSTA, M. C. G.; FERREIRA, G. B.; ARAÚJO, A. M. *Apostila do curso de interpretação de análises de solos e recomendação de calagem e adubação no estado de Roraima*. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2008. p. 10-11. (Embrapa Roraima, Documentos, n. 8).

COUTO, W. S.; TEIXEIRA NETO, J. F.; SIMÃO NETO, M.; LOURENÇO JÚNIOR, J. B. Estabelecimento de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sob duas fontes e doses de fósforo na região de Paragominas, Estado do Pará, Brasil. *Pasturas Tropicais*, v. 21, n. 1, p. 60-63, 1999.

DADALTO, G. G.; FULLIN, E. A. *Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo - 4ª aproximação*. Vitória: SEEA/INCAPER, 2001. 266 p.

EARL, R.; THOMAS, G.; BLACKMORE, B. S. The potential role of GIS in autonomous field operations. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 25, n. 1, p. 107-120, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699\(99\)00058-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699(99)00058-7)

EL-HUSNY, J. C.; ANDRADE, E. B.; SOUZA, F. R. S.; SILVEIRA FILHO, A.; ALMEIDA, L. A.; KLEPKER, D.; MEYER, M. C. *Recomendação de cultivares de soja para a microrregião de Paragominas, Pará*. Embrapa-Amazônia Oriental, 2003. 6 p. (Comunicado técnico, n. 82).

EL-HUSNY, J. C.; ANDRADE, E. B.; MEYER, M. C.; ALMEIDA, L.A. *Soja BRS candeia: comportamento e recomendação para plantio nas microrregiões de Paragominas e Santarém, PA*. Belém: EMBRAPA-CPATU, 2006. 5 p. (Embrapa – CPATU, Comunicado Técnico, n. 182).

EMBRAPA. *Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidade de mapeamento*. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1988. 67 p. (Embrapa, Documentos, n. 11).

EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

ERNANI, P. R.; NASCIMENTO, J. A. L.; OLIVEIRA, L. C. Increase of grain and green matter of corn by liming. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, n. 2, p. 275-280, 1998.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. *Maximização da eficiência de produção das culturas*. Brasília: EMBRAPA, 1999. 294 p.

FAGERIA, N. K. Resposta de arroz de terras altas, feijão, milho e soja à saturação por base em solo de cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 5, n. 3, p. 416-424, 2001. [http:// dx.doi.org/10.1590/S1415-43662001000300009](http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662001000300009)

FERNANDES, P. C. C.; GRISE, M. M.; ALVES, L. W. R.; SILVEIRA FILHO, A.; DIAS-FILHO, M. B. *Diagnóstico e modelagem da integração lavoura-pecuária na região de Paragominas, PA*. Embrapa/Amazônia Oriental, 2008. 33 p. (Documentos, n. 327).

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. [http:// dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001](http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001)

FRANCHIN, M. F.; MARTARELO, F.; MODOLO, A. J.; KOLLING, E. M.; TROGELLO, E. Uso da agricultura de precisão na correção da fertilidade do solo. *Synergismus Scyentifica*, v. 4, n. 1, p. 1-3, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Divisão de Geociência do Norte (Belém, PA)*. Belém. 2007. Mapa Geomorfológico de folhas.

LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V.; BORGHI, E. *Geoprocessamento e a agricultura de precisão*. Guaíba: Agropecuária, 2001. 118 p.

LEMONS, R. C. S.; MORAIS, F. I. O. Crescimento da soja em um Argissolo do cerrado de Redenção, PA, em função da saturação por bases e da adubação fosfatada. *Revista de Ciências Agrárias*, n. 41, p. 67-75, 2004.

LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R. Alterações em características químicas de solos da região amazônica pela introdução de pastagens. *Acta Amazonica*, v. 30, n. 1, p. 71-80, 2000.

LUIZÃO, F. J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. *Ciência e Cultura*, v. 59, n. 3, p. 31-36, 2007.

MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 31, n. 3, p. 591-599, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000300019>

MOLIN, J. P.; MASCARIN, L. S.; VIEIRA JÚNIOR, P. A. Avaliação de intervenções em unidades de aplicação localizada de fertilizantes e de populações de milho. *Engenharia Agrícola*, v. 26, n. 2, p. 528-536, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162006000200022>

MORAIS, F. I. O.; ALBUQUERQUE, R. N. O. Composição mineral da soja e propriedades químicas de um Latossolo Amarelo com pastagens degradadas de Paragominas em função da calagem e da adubação fosfatada. *Revista Ciências Agrárias*, n. 46, p. 89-105, 2006.

MOREIRA, A.; COSTA, D. G. Dinâmica da matéria orgânica na recuperação de clareiras da floresta amazônica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 10, p. 1013-1019, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004001000009>

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Toxicity of aluminum to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO<sub>3</sub> and CaSO<sub>4</sub>. *Soil Science Society of America Journal*, v. 46, n. 6, p. 1201-1207, 1982. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1982.03615995004600060017x>

PIERCE, F. J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. *Advances in Agronomy*, v. 67, p. 1-85, 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60513-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60513-1)

PIRES, F. R.; CATEN, A.; MARTINS, A. G.; ESPOSTI, M. D. D. Levantamento da fertilidade nas principais unidades de mapeamento do Espírito Santo. *Revista Ciência Agronômica*, v. 34, n. 2, p. 115-123, 2003.

PINTO, A.; AMARAL, P.; SOUZA JÚNIOR, C.; VERÍSSIMO, A.; SALOMÃO, R.; GOMES, G.; BALIEIRO, C. *Diagnóstico socioeconômico e florestal do município de Paragominas*. Relatório Técnico. Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia – Imazon, 2009. 65 p.

QUAGGIO, J. A.; GALLO, P. B.; FURLANI, A. M. C.; MASCARENHAS, H. A. A. Isoquantas de produtividade de soja e sorgo para níveis de calagem e molibdênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, n. 2, p. 337-344, 1998.

RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 4, p. 381-384, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000400008>

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, Fundação IAC, 1996. 285 p. (Instituto Agronômico de Campinas. Boletim Técnico, n. 100).

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

RODRIGUES, T. E.; SILVA, R. C.; SILVA, J. M. L.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; GAMA, J. R. N. F.; VALENTE, M. A. C. *Caracterização e classificação dos solos do município de Paragominas, Estado do Pará Belém*. Embrapa-Amazônia Oriental, 2003. 49 p. (Embrapa, Documentos, n. 162).

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000600005>

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; MIRANDA, L. N. Correção do solo e adubação da cultura da soja. In: ARANTES, N. E.; SOUZA, D. I. M. *Cultura da soja nos cerrados*. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 137-159.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. *Correção do solo e adubação da cultura da soja*. Planaltina: Embrapa/CPAC, 1996. 30 p. (Circular técnica, n. 33).

SOUZA, F. R. S.; RIBEIRO, P. H. E.; VELOSO, C. A. C.; CORRÊA, L. A. Produtividade e estabilidade fenotípica de cultivares de milho em três municípios do Estado do Pará. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, n. 9, p. 1269-1274, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X20020009000103>

SOUZA, P. J. O. P.; FARIAS, J. R. B.; ABREU, J. P. M. M.; RIBEIRO, A.; ROCHA, E. J. P.; BOTELHO, M. N.; SOUSA, A. M. L. Simulation of soybean growth and yield under northeastern Amazon climatic conditions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 6, p. 567-577, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011000600001>

TEDESCO, M. J.; GOEPFERT, C. F.; LANZER, E. A.; VOKWEISS, S. J. Avaliação da fertilidade dos solos do Rio Grande do Sul. *Agronomia Sul-Riogradense*, v. 20, n. 1, p. 179-194, 1984.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. *Soil fertility and fertilizers*. London: Mac Milan, 1970. 694 p.

TISSI, J. A.; CAIRES, E. F.; PAULETTI, V. Efeitos da calagem em semeadura direta de milho. *Bragantia*, v. 63, n. 3, p. 405-413, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052004000300010>

USERY, E. L.; POCKNEE, S.; BOYDELL, B. Precision farming data management using Geographic Information Systems. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 61, n. 11, p. 1383-1391. 1995.

VELOSO, C. A. C.; SOUZA, F. R. S.; PEREIRA, W. L. M.; TENÓRIO, A. R. M. Relações cálcio, magnésio e potássio sobre a produção de matéria seca do milho. *Acta Amazônica*, v. 31, n. 2, p. 193-204, 2001.

VERDADE, F. C. Influência da matéria orgânica na capacidade de troca de cátions do solo. *Bragantia*, v. 15, n. 4, p. 35-42, 1956. [http:// dx.doi.org/10.1590/S0006-87051956000100004](http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051956000100004)

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

**Table 1.** Descriptive statistics of chemical properties of 1,945 samples during 2009 and 2010 in cultivated soils in the region of Paragominas, Pará state-PA.

Variable	Mean	Median	Min	Max	sd	CV	s <sup>2</sup>	Kurt	Asym
pH (H O)	5.7	5.7	4.5	8.0	0.4	7.7	0.2	1.6	0.
V (%)	47	46.7	10	94.8	13.6	28.9	185	0.1	0.
m (%)	5.2	0.0	0.0	60.9	9.6	174	91	4.0	2.
SB (cmol dm <sup>-3</sup> )	3.81	3.58	0.67	14.14	1.63	42.8	2.68	1.07	2.68
K (cmol dm <sup>-3</sup> )	0.25	0.23	0.04	0.74	0.12	48	0.01	-0.1	0.61
Ca (cmol dm <sup>-3</sup> )	2.7	2.6	0.4	11.5	1.2	44.5	1.6	1.6	0.
Mg (cmol dm <sup>-3</sup> )	0.77	0.7	0.2	3.5	0.34	44.16	0.11	2.58	1.03
Al (cmol dm <sup>-3</sup> )	0.11	0.0	0.0	1.2	0.19	172.7	0.04	2.86	1.71
CEC (cmol dm <sup>-3</sup> )	7.89	7.9	2.6	15.2	1.64	20.78	2.71	1.06	0.05
CEC t (cmol dm <sup>-3</sup> )	3.92	3.59	1.14	14.14	1.52	38.77	2.32	1.66	1.03
P (mg dm <sup>-3</sup> )	10.3	8.1	1.2	59.9	8.1	78.64	2.32	1.66	0.99
OM (g kg <sup>-1</sup> )	32.8	33	5	59.2	8.5	25.91	72	0.7	-0.3

Values for pH, soil base saturation (V), aluminum saturation (m), sum of bases (SB), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminum (Al), cation exchange capacity (CEC), effective cation exchange capacity(CEC t), phosphorus (P), and organic matter (OM). Mean values (Mean), median values (Median), minimum values (Min), maximum values (Max), standard deviation (sd), coefficient of variation (CV), variance (s<sup>2</sup>), kurtosis coefficient (Kurt), asymmetry coefficient (Asym).

### 3. Análise multivariada aplicada a variação espacial da fertilidade do solo no município de Santarém - PA

#### Resumo

A produção de grãos em Santarém-PA é praticada em unidades de produção que utilizam mecanização agrícola, insumos como fertilizantes e defensivos para o controle de pragas, doenças e ervas daninhas. O uso de plantio direto ainda é incipiente, assim como, também, é inicial a utilização das técnicas da agricultura de precisão. O uso inadequado de quantidades de fertilizantes abaixo ou acima da real necessidade no campo de cultivo, eleva os custos de produção e ao longo dos anos, torna-se uma potencial fonte de poluição de águas superficiais e subterrâneas. A variabilidade dos solos agricultáveis, na maioria das vezes, não é considerada pelos agricultores, que fazem a opção de aplicar práticas homogêneas de manejo do solo, principalmente adubação, para o total da área cultivada, o que induz ao agricultor usar quantidades inadequadas de fertilizantes para determinadas áreas dentro do cultivo. Uma opção para esse tipo de análise, que facilitaria o trabalho com esses tipos de dados, é o uso de análise multivariada. Visando analisar um conjunto de variáveis oriundas das análises de solo utilizou-se a aplicação da análise multivariada buscando condensar estas variáveis em um grupo menor de fatores sem perdas importantes de informações para criação de um Índice de Fertilidade do Solo. O estudo foi realizado no Baixo Amazonas Paraense no município de Santarém, de onde foram coletadas as amostras de solo em 03 propriedades agrícolas do município com culturas de soja e arroz. A amostragem do solo foi realizada em uma área total de aproximadamente 740 ha, com grade amostral de 5 ha, perfazendo o total de 148 pontos amostrais. Foram extraídos quatro fatores da análise fatorial explicando 74,79% da variância total dos dados, o que é satisfatório pelo critério da porcentagem da variância. Três aglomerados de pontos amostrais foram identificados. Essas aglomerações inferem que esses pontos amostrais tem certa semelhança entre si dentro de cada aglomerado. O número de aglomerados coincide com o número de propriedades onde o conjunto de amostras foram retiradas. O uso de análise multivariada, em especial a análise de fatores, análise de aglomerados e análise discriminantes mostraram eficientes para o estudo proposto, uma vez que a análise de variância poderia não mostrar eficiência devido as inter-relações entre as variáveis causando viés nos resultados. Baseado nessas análises, do universo estudado neste trabalho, aproximadamente 97% da área amostrada apresentou níveis de fertilidade do solo satisfatória ou alta, o que induz ao uso de quantidades reduzidas de fertilizantes na maior parte da área de cultivo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Índice de Fertilidade do Solo; Análise fatorial; Análise de componentes principais; Análise de aglomerados

#### Abstract

Grain in Santarém-PA is produced in establishments that use agricultural mechanization, inputs such as fertilizers and pesticides to control pests, diseases and weeds. The use of tillage is still incipient, and also is starting to use the techniques of precision agriculture. Improper use of fertilizer amounts below or above the real need in farming field increases costs of production and over the years, become a potential source of pollution of surface and ground waters. The variability of agricultural soils, most of the time, is not considered by farmers, who make the choice to apply homogeneous practices of soil management, mainly fertilization, to the total cultivated area, which induces farmers use inadequate amounts of fertilizer for certain areas within the crop. One option for this type of analysis, which facilitate the work with these data types, is the use of multivariate analysis. To analyze a set of variables from the soil analysis used the application of multivariate analysis seeking to condense these variables into a smaller set of factors without significant loss of information to create a Soil Fertility Index. The study was conducted in the Lower Amazon Pará in the city of Santarem, from which they were collected soil samples in 03 farms of the municipality with soy and rice crops. Soil sampling was collected on a total area of approximately 740 ha, with sampling grid of 5 ha, totaling 148 sampling points. Four factors of factor analysis were extracted explaining 74.79% of the total variance of the data, which is satisfying the criterion of percentage of the variance. Three clusters of sampling points were identified. These agglomerations infer that these sample points has a certain resemblance to each other within each cluster. The number of clusters coincides with the

number of properties where the set of samples were taken. The use of multivariate analysis, especially factors analysis, cluster analysis and discriminant analysis proved effective for the proposed study, since the analysis of variance could not show efficiency due to the interrelationships between the variables causing bias in the results. Based on these analyzes, the universe studied in this work, approximately 97 % of the sampled area showed satisfactory levels of fertility of the soil or high, which leads to the use of reduced amounts of fertilizer in most of the cultivation area.

**KEYWORDS :** Soil Fertility Index; Factor analysis; Principal component analysis; Cluster analysis

### 3.1 INTRODUÇÃO

O município de Santarém – PA, situado no baixo Amazonas, ocupa uma área de aproximadamente 17.898 km<sup>2</sup>, tendo uma área de produção de grãos (arroz, milho e soja) de 26.963 ha (IBGE, 2013). Esta atividade é praticada em unidades de produção que utilizam mecanização agrícola, insumos como adubos químicos e corretivos de solo, bem como defensivos para o controle de pragas, doenças e ervas daninhas. O uso de plantio direto ainda é incipiente, assim como, também, é inicial a utilização das técnicas da agricultura de precisão (Oliveira et al., 2013).

Os nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas se dividem em macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, e S) e micronutrientes (Mn, Fe, B, Zn, Cu, Mo e Cl). O esgotamento dos solos por várias décadas de cultivos, sem reposição de nutrientes, assim como a exploração de novas áreas com solos de baixa fertilidade, tornam a agricultura brasileira cada vez mais dependente da aplicação maciça de fertilizantes (RESENDE et al., 1993).

O uso inadequado de quantidades de fertilizantes abaixo ou acima da real necessidade no campo de cultivo, eleva os custos de produção e ao longo dos anos, torna-se uma potencial fonte de poluição de águas superficiais e subterrâneas (BOLFE et al., 2007).

Segundo Silva et al, (2015), o solo é o resultado da interação de fatores geológicos, topográficos e climáticos, entre outros, que juntos conferem características e propriedades químicas e físicas próprias.

Os fatores de formação do solo atuam naturalmente e variam, de acordo com o manejo, variando de alguns metros quadrados até milhares de hectares, fazendo com que os atributos químicos do solo não se organizem aleatoriamente, mas sim com alguma estruturação espacial (VIEIRA et al., 2010).

De uma maneira geral, são representados espacialmente como geocampos categóricos, o que leva a supor, erroneamente, que suas propriedades físicas e químicas são constantes dentro de regiões homogêneas (BURROUGH & MCDONNELL, 1998).

A variabilidade dos solos agricultáveis, na maioria das vezes, não é considerada pelos agricultores, que fazem a opção de aplicar práticas homogêneas de manejo do solo, principalmente adubação, para o total da área cultivada, o que induz ao agricultor usar quantidades inadequadas de fertilizantes para determinadas áreas dentro do cultivo.

Uma opção para esse tipo de análise, que facilitaria o trabalho com esses tipos de dados, é o uso de análise multivariada (Silva et al., 2010). Tais técnicas multivariadas permitem que se faça ainda redução na dimensão de análises com múltiplas respostas com o objetivo de simplificar o seu entendimento, a sua visualização e interpretação, além de obter suficientes detalhes para adequada representação desses resultados (Bognola et al., 2011).

Na análise simultânea de muitas informações, a estatística multivariada torna-se a melhor ferramenta, possibilitando obter informações e interpretações que poderiam não ser perceptíveis com o uso da análise estatística univariada. A aplicação de técnicas multivariadas para avaliar as variáveis do solo tem encontrado resultados satisfatórios (Freitas et al., 2014).

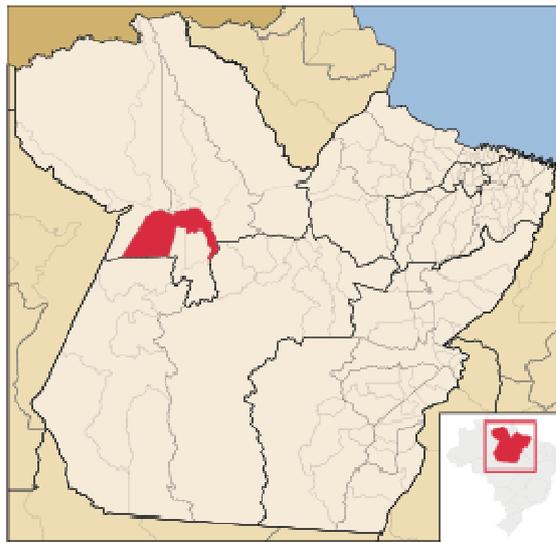
Tais procedimentos consideram que ocorre a independência entre os valores amostrais e que a variável segue distribuição normal. Comumente estas hipóteses não são testadas e, além disso, a independência tem que ser assumida *a priori*, antes de se amostrar (GONÇALVES et al., 2001).

Visando analisar um conjunto de variáveis oriundas das análises de solo utilizou-se a aplicação da análise multivariada buscando condensar estas variáveis em um grupo menor de fatores sem perdas importantes de informações para criação de um Índice de Fertilidade do Solo (IFS) que será utilizado como ferramenta de decisão para uma adubação mais racional dos solos. Os grupos de variáveis resultantes serão utilizados para a análise de aglomerados e análise discriminante para confirmar a existência de diferença estatística entre as variáveis de cada grupo.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

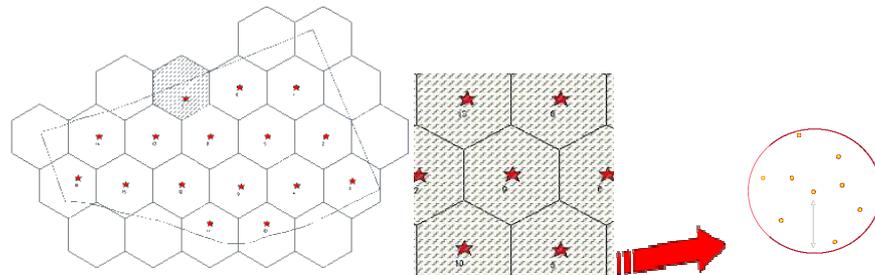
O estudo foi realizado no Baixo Amazonas Paraense no município de Santarém, localizadas às margens da BR-163, sua sede está nas coordenadas geográficas 02° 26' 34" S e 54° 42' 28" W (Figura 6). Pertence à mesorregião do Baixo Amazonas e a microrregião de mesmo nome. Situa-se na confluência dos rios Tapajós e Amazonas. O clima da região é Ami, o que

correspondendo a um clima tropical úmido, segundo a classificação de Köppen. A região apresenta uma precipitação média anual em torno de 2.100 mm, com uma estação de menor pluviosidade de um a cinco meses. A temperatura média anual é 25°C. Os períodos de menor intensidade de precipitação pluviométrica varia de 1 a 5 meses anualmente (CARVALHO, 1980). O relevo da área varia de plano a levemente ondulado. O solo predominante é o Latossolo Amarelo distrófico e a vegetação é do tipo floresta alta com emergentes, e ocorrência rara de palmeiras (SILVA et al, 1985).



**Figura 6** – Localização do município de Santarém, Pará, Brasil

Utilizou-se um banco de dados de resultados de amostras de solos coletadas nos anos de 2009 e 2010 em 03 propriedades agrícolas do município com culturas de soja e arroz. A amostragem do solo foi realizada em uma área total de aproximadamente 740 ha, com grade amostral de 5 ha, perfazendo o total de 148 pontos amostrais (amostras compostas). Cada amostra composta foi formada a partir de 10 amostras simples coletadas em um círculo de 1 m de diâmetro dentro de cada grade de amostragem, resultando assim num total de 1.480 amostras simples coletas (Figura 7).



**Figura 7** - Representação esquemática da definição das grades de amostragem e coletas das amostras de solo – detalhe das grades de amostragem

As coletas de solo foram realizadas através de trado de rosca de aço inoxidável automatizado com motor elétrico, instalado em um quadriciclo equipado com GPS (Figura 8), na profundidade de 0 – 20 cm.

As amostras foram coletadas, armazenadas e enviadas para análise química onde determinou-se: pH em água (1:2,5), acidez potencial, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, potássio e fósforo, conforme EMBRAPA (1997). Com base nesses valores, foram calculados os valores de saturação por bases e saturação por alumínio.

A análise fatorial foi utilizada para analisar estruturas das correlações entre um grande número de variáveis independentes, agrupando estas variáveis em um conjunto de fatores, facilitando assim a compreensão da estrutura da nuvem de dados. O emprego dessa técnica pode, inicialmente identificar as dimensões isoladas da estrutura dos dados e depois determinar o grau em que cada variável é explicada por cada fator, possibilitando assim a redução da massa de dados (GAMA et al, 2007).



**Figura 8** - Quadriciclo equipado com GPS e amostrador de solo.  
Fonte: Bunge Fertilizantes

Um modelo de análise fatorial pode ser apresentado na forma matricial, como em Dillon e Goldstein (1984):

$$X = \alpha F + \varepsilon \quad (1)$$

em que:

$X$ = p-dimensional vetor transposto das variáveis observáveis, denotado por  $X = (x_1, x_2, \dots, x_p)'$ ;  $F$ =q-dimensional vetor transposto de variáveis não-observáveis ou variáveis latentes

chamadas de fatores comuns, denotado por  $F = (f_1, f_2, \dots, f_q)'$ , sendo  $q < p$ ;  $e = p$ -dimensional vetor transposto de variáveis aleatórias ou fatores únicos,  $e = (e_1, e_2, \dots, e_p)'$ ; e  $\alpha =$  matriz  $(p, q)$  de constantes desconhecidas, chamadas de cargas fatoriais.

No modelo de análise fatorial pressupõe-se que os fatores específicos sejam ortogonais entre si e com todos os fatores comuns. Normalmente,  $E(\varepsilon) = E(F) = 0$  e  $Cov(\varepsilon, F) = 0$ .

Para confirmar a estrutura inicial utilizou-se o método de rotação ortogonal dos fatores denominado *varimax* que é um processo em que os eixos de referência dos fatores são rotacionados em torno da origem até que alguma outra posição seja alcançada. Esse método tem como objetivo redistribuir a variância dos primeiros fatores para os demais atingindo assim um padrão fatorial mais simples e teoricamente mais significativo (SANTANA, 2005; HAIR et al., 2009).

De acordo com SANTANA (2007) o IFS foi definido como uma combinação linear desses escores fatoriais e a proporção da variância, explicada por fator em relação à variância comum. A expressão matemática é dada por:

$$IFS = \sum_{j=1}^q \left[ \frac{\lambda_j}{\sum_j \lambda_j} \right] FP_{ij} \quad (2)$$

em que  $\lambda$  é a variância explicada por fator e  $\sum \lambda$  é a soma total da variância explicada pelo conjunto de fatores comuns.

O escore fatorial foi padronizado (FP) para se obterem valores positivos dos escores originais e permitir a hierarquização das amostras, uma vez que os valores do IFS estão situados entre zero e um. A fórmula matemática proposta foi a seguinte:

$$FP_i = \left( \frac{F_i - F_{\min}}{F_{\max} - F_{\min}} \right) \quad (3)$$

em que  $F_{\min}$  e  $F_{\max}$  são os valores máximo e mínimo observados para os escores fatoriais associados às observações das amostras de solo de acordo com SANTANA (2007).

Para facilitar a interpretação dos resultados estabeleceram-se os seguintes intervalos de valores do IFS, agrupando-se as amostras conforme seu grau de importância: valores do IFS igual ou superior a 0,70 são considerados altos; valores situados entre 0,35 e 0,69 são intermediários; valores inferiores a 0,35 são baixos.

Foram realizados testes para aferir a adequação do método à amostra de dados, dos quais os principais foram: teste de esfericidade de Bartlett, que avalia a significância geral da matriz de correlação, ou seja, testa a hipótese nula de que a matriz de correlação é uma matriz identidade; teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que se baseia no princípio de que a inversa da matriz de correlação se aproxima da matriz diagonal, por isso compara as correlações entre as variáveis observáveis. As fórmulas matemáticas desses testes são as seguintes (DILLON; GOLDSTEIN, 1984; REIS, 2001; MINGOTI, 2005 citados por SANTANA, 2007):

$$KMO = \frac{\sum_i \sum_j r_{ij}^2}{\sum_i \sum_j r_{ij}^2 + \sum_i \sum_j a_{ij}^2} \quad (4)$$

em que  $r_{ij}$  é o coeficiente de correlação da amostra entre as variáveis  $x_i$  e  $x_j$  e  $a_{ij}$  é o coeficiente de correlação parcial entre as mesmas variáveis, que é, simultaneamente, uma estimativa das correlações entre os fatores, eliminando o efeito das demais variáveis. Os  $a_{ij}$  deverão assumir valores próximos de zero, uma vez que se pressupõe que os fatores são ortogonais entre si.

Valores deste teste abaixo de 0,50 são inaceitáveis (HAIR et al., 2009). O teste de Bartlett de esfericidade testa a hipótese nula de que as variáveis são independentes, contra a hipótese alternativa de que as variáveis são correlacionadas entre si (SANTANA, 2007).

Para confirmar os agrupamentos dos dados foi utilizada a análise discriminante, no software IBM SPSS Statistics, versão 20. A técnica consiste em análise de um modelo em que a variável dependente é categórica, que no caso consiste em três grupos de classificação (propriedades), e as variáveis independentes são métricas ou de natureza intervalar (atributos químicos do solo). Quando três classificações são envolvidas, a técnica é referida aos três grupos de análise discriminante, sendo apropriada para testar as hipóteses de que as médias dos grupos das variáveis independentes localizadas para os três grupos são iguais. Estas médias dos valores dos escores discriminantes dos grupos se referem aos centróides deles, existindo tantos centróides quantos são os grupos; uma comparação entre esses mostra quanto estão separados os grupos durante o teste da função discriminante (GONÇALVES et al., 2008).

A equação geral do modelo discriminante é:

$$Z_{jk} = \alpha + \omega_1 X_{1k} + \omega_2 X_{2k} + \dots + \omega_n X_{nk} \quad (5)$$

Onde  $Z_{jk}$  = escore Z discriminante da função discriminante j, para o objeto k

$\alpha$  = intercepto da função

$\omega_i$  = peso discriminante para a variável independente i

$X_{ik}$  = variável independente i, para o objeto k.

As variáveis quantitativas utilizadas para no estudo foram: potencial de Hidrogênio (pH), saturação por base (V%), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Alumínio trocável (Al), matéria orgânica (MO), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por alumínio (m%), Enxofre (S), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn) e Boro (B). Como variável dependente utilizou-se as “propriedades rurais”.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1 Análise Fatorial

A adequação da análise fatorial foi determinada pelos testes KMO e Bartlett. O teste KMO, da ordem de 0,658, indicou que as variáveis estão correlacionadas e que o modelo fatorial apresentou um nível bom de adequação aos dados (Tabela 2). Valores deste teste abaixo de 0,50 são inaceitáveis (HAIR et al., 2009). Quanto ao teste de Bartlett avaliou a significância geral da matriz de correlação e apresentou um valor de 2392,692, indicando que as correlações, em geral, são significantes ao nível de 1% de probabilidade, ou seja, a matriz de correlação não é diagonal (Tabela 2).

**Tabela 2** - Teste de KMO e Bartlett

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adequação de amostragem.		0,658
	Chi-quadrado aprox.	2392,692
Teste de esfericidade de Bartlett	df	120
	Sig.	0,000

Fonte: Resultado da pesquisa

Na Tabela 3 as três primeiras colunas são os resultados para os cinco fatores extraídos, ou seja, as cargas fatoriais para cada variável em cada fator. A quarta coluna fornece a estatística, detalhando o grau em que cada variável é “explicada” pelos quatro componentes, denominada de **comunalidade**. Das duas últimas colunas, a primeira é a soma da coluna de cargas fatoriais ao quadrado (autovalores) e indica a importância relativa de cada fator na explicação da variância associada ao conjunto de variáveis analisado. As somas dos cinco fatores são 5,021, 2,391, 1,657, 1,470 e 1,428, respectivamente. Como esperado, a solução fatorial extraiu os fatores na ordem de sua importância, com o fator 1 explicando a maior parcela da variância (31,38%), o fator 2 explicando 14,94%, fator 3 explicando 10,35%, fator

4 explicando 9,185% e o fator 5 explicando 8,92%. Os quatro fatores explicam 74,79% da variância total dos dados, o que é satisfatório pelo critério da porcentagem da variância.

Baseado no trabalho de SANTANA (2007), a parcela total da variância explicada deste estudo, pela solução fatorial (11, 967) pode ser comparada com a variação total do conjunto de variáveis, que é representada pelo traço da matriz fatorial. O traço é a variância total a ser explicada, obtida pela soma dos autovalores do conjunto de variáveis (soma do total dos autovalores, primeira coluna da Tabela 3), dado que cada variável tem um autovalor possível igual a 1,0. A soma total dos percentuais de traço extraído para a solução fatorial serve como índice para determinar o grau de adequação da solução fatorial em relação ao que todas as variáveis representam. O índice para esta solução mostra que 74,796% da variância total são representados pela informação contida na matriz fatorial da solução em termos dos quatro fatores. O índice é considerado alto, e as variáveis estão, como esperado, estreitamente relacionadas umas com as outras.

**Tabela 3** - Resultados dos autovalores para a extração de fatores componentes e variância total explicada pelos fatores

Componente	Autovalores ( $\lambda$ ) e variâncias iniciais			Variâncias após rotação		
	Total	% de variação	% cumulativa	Total	% de variação	% cumulativa
1	5,735	35,845	35,845	5,021	31,383	31,383
2	1,972	12,328	48,173	2,391	14,944	46,327
3	1,645	10,279	58,452	1,657	10,355	56,682
4	1,379	8,617	67,069	1,470	9,185	65,868
5	1,236	7,726	74,796	1,428	8,928	74,796
6	0,945	5,909	80,704			
7	0,798	4,987	85,691			
8	0,584	3,648	89,339			
9	0,512	3,203	92,542			
10	0,467	2,919	95,461			
11	0,367	2,297	97,757			
12	0,212	1,324	99,081			
13	0,095	0,596	99,677			
14	0,032	0,200	99,877			
15	0,017	0,103	99,980			
16	0,003	0,020	100,000			

Fonte: Resultado da pesquisa

A soma das cargas fatoriais dos fatores ao quadrado gera a comunalidade (Tabela 4). O tamanho da comunalidade é um índice útil para avaliar o quanto de variância numa dada

variável é explicado pela solução fatorial. Comunalidades grandes indicam que uma grande parcela da variância numa variável foi extraída pela solução fatorial. Uma comunalidade pequena, inferior a 0,50, mostra que uma boa parte da variância contida numa variável não é explicada pelos fatores (SANTANA, 2007).

A seleção das variáveis significativas que devem fazer parte de um fator é eleita com base na magnitude da carga fatorial (Tabela 4); assim, podem ser eleitas olhando-se da esquerda para a direita ao longo de cada linha e selecionando-se as cargas de maior valor. Adotando esse processo, o fator 1 tem sete cargas significativas; o fator 2, duas cargas significativas, o fator 3, duas cargas significativas, o fator 4, três cargas significativas e o fator 5, duas.

No primeiro fator estão as variáveis alumínio trocável (Al), saturação por alumínio (m%), saturação por base (V%), cálcio, pH, Mg e P, demonstrando que o Al e o m% são antagonistas das demais variáveis do fator, estando coerentes os conhecimentos dos estudos dos solos. Dessa forma para manter um nível satisfatório de nutrição para as plantas, faz-se necessário reduzir os níveis de Al e m%. Este fator pode ser chamado de dimensão “Saturação por bases”, uma vez que os fatores influenciados por essas variáveis dizem respeito à um aumento da cargas elétricas na solução do solo.

No segundo fator foram incluídas as variáveis CTC e MO. Essas variáveis estão relacionadas com a capacidade de troca de cátions, onde a matéria orgânica tem papel fundamental na adsorção de elementos nutritivos pelas cargas elétricas e as trocas catiônicas. A combinação dessas variáveis melhora a qualidade do solo, o que é buscado nos cultivos de soja com a utilização do plantio direto. Esta dimensão de conduta está ligada à prestação de serviços, que nomeia o fator como “Trocas catiônicas”.

O terceiro fator foi composto apenas pelas variáveis Fe e Mn. Os fatores mostraram sinais antagonistas, com o Fe apresentando sinal negativo. Apesar desses elementos apresentarem cargas elétricas opostas, não existem relatos que comprovem concorrência por sítios de acoplamento, embora o Fe apresente toxidez para as plantas em níveis elevados no solo. Esse fator pode representado com a dimensão “Toxidez por Ferro”.

O quarto fator representado pelo B, S e Zn apresentou sinal negativo para as duas primeiras variáveis, embora não tenham relatos de interdependência desses nutrientes na sua disponibilidade para as plantas. Esse fator foi nominado de “Reguladores metabólicos e sanitários” uma vez que tais elementos melhoram a resistência e o metabolismo das plantas.

O quinto e último fator é representado pela variável K e Cu. A nomeação desse fator é “Nutrição potássica”, uma vez que esse elemento apresenta uma carga muito alta para o fator.

**Tabela 4** - Matriz de cargas fatoriais ( $\alpha$ ) após a rotação ortogonal pelo método Varimax.

Variáveis	Fatores					Comunalidade
	F1	F2	F3	F4	F5	
Al	-,939	-,034	-,029	-,022	,057	,887
M%	-,937	-,080	-,046	,049	,065	,893
V%	,934	,103	,102	,188	,032	,929
Ca	,839	,389	,123	,228	,011	,922
pH	,799	,056	,008	,478	,098	,880
Mg	,744	,335	-,030	-,258	-,102	,744
P	,551	-,126	,291	,182	,421	,615
CTC	,197	,947	,047	-,023	,005	,938
MO	,182	,947	,023	,004	,036	,931
Fe	-,125	,092	-,792	,104	,102	,673
Mn	,012	,243	,772	,178	,140	,707
B	,006	-,239	,486	-,633	-,245	,754
S	-,051	,268	-,027	-,512	,083	,344
Zn	,222	,229	,273	,510	-,243	,495
K	,122	,183	-,062	,090	,818	,729
Cu	,189	,124	-,009	,278	-,630	,525
Soma de quadrado do autovalor	5,0213	2,3910	1,6568	1,4696	1,4284	11,967
Porcentual do traço (%)	31,383	14,943	10,355	9,1854	8,9280	74,796

Fonte: Resultado da pesquisa

Na Tabela 5 os cinco escores fatoriais originais são positivos ou negativos. Um sinal positivo indica que os solos na região amostrada estão com equilíbrio nutricional satisfatório para as plantas e que um sinal negativo significa que os efeitos das forças positivas superam os efeitos das forças negativas no grupo das primeiras 16 amostras observadas (primeira área em destaque na tabela 5). Nas últimas 4 posições da tabela 4, o sinal negativo significa que os efeitos das forças positivas são superadas pelos efeitos das forças negativas (segunda área de destaque na tabela 5).

Ordenando os valores do IFS, obteve-se dezesseis pontos amostrais apresentaram IFS > 0,70 (a média do IFS foi de 0,56); cento e vinte e oito amostras apresentaram grau fertilidade intermediário, com IFS entre 0,35 e 0,70; as demais 4 pontos amostrais apresentaram baixo grau de fertilidade.

Observa-se que a maioria dos pontos amostrados (86%) foi enquadrada na categoria de níveis de fertilidade “satisfatório”, as quais não apresentam muita carência nutricional, garantindo produtividades razoáveis das espécies cultivadas.

**Tabela 5** - Valores dos escores fatoriais originais e padronizados e o índice de fertilidade do solo.

Obs	Escore fatorial original					Escore fatorial padronizado					IFS
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5	
127	1,3129	0,4533	1,8204	0,8981	2,1036	0,90756	0,60227	0,76744	0,69591	1,00000	<b>0,81221</b>
124	1,3593	0,3895	1,0530	0,3415	1,3823	0,91819	0,58980	0,61193	0,61399	0,88428	<b>0,76877</b>
129	1,7160	0,2260	0,1916	0,4103	1,0151	1,00000	0,55783	0,43737	0,62412	0,82537	<b>0,76676</b>
102	0,8633	0,8767	2,1830	0,7310	0,2003	0,80446	0,68510	0,84091	0,67131	0,69464	<b>0,75620</b>
125	0,9199	0,2525	1,5888	0,9012	1,7583	0,81745	0,56301	0,72050	0,69636	0,94459	<b>0,75350</b>
137	1,3673	1,8764	-1,0395	0,5756	-0,2541	0,92004	0,88064	0,18790	0,64844	0,62175	<b>0,74185</b>
114	0,3571	2,0606	1,7329	0,2837	0,6489	0,68840	0,91667	0,74970	0,60549	0,76661	<b>0,74164</b>
123	0,4841	0,7050	2,9681	1,6307	-0,5371	0,71752	0,65151	1,00000	0,80372	0,57634	<b>0,73717</b>
128	1,4009	-0,5751	0,6819	0,3519	1,6602	0,92775	0,40114	0,53672	0,61551	0,92887	<b>0,73019</b>
105	0,6384	1,9651	2,0439	0,9737	-2,3652	0,75290	0,89799	0,81273	0,70703	0,28304	<b>0,72845</b>
2	1,5092	0,8499	-0,0787	-1,1346	0,5643	0,95256	0,67986	0,38261	0,39674	0,75304	<b>0,72710</b>
126	1,0955	0,0308	0,9916	0,3040	1,1464	0,85771	0,51964	0,59949	0,60847	0,84643	<b>0,72246</b>
146	0,3608	2,3834	0,5647	0,0531	0,4322	0,68925	0,97980	0,51298	0,57154	0,73185	<b>0,71353</b>
135	1,1115	1,4596	-1,3777	0,5500	0,9040	0,86138	0,79910	0,11938	0,64468	0,80754	<b>0,71317</b>
111	0,8241	0,3692	1,2367	1,0079	-0,0486	0,79547	0,58583	0,64916	0,71207	0,65472	<b>0,70629</b>
106	0,9644	-0,4815	1,6539	0,0616	1,0314	0,82766	0,41945	0,73369	0,57279	0,82799	<b>0,70183</b>
118	1,0965	0,7143	-0,9181	0,3213	0,8702	0,85795	0,65332	0,21251	0,61101	0,80212	<b>0,69072</b>
143	0,6837	2,4867	-0,9500	-0,6519	-0,0537	0,76328	1,00000	0,20605	0,46778	0,65390	<b>0,68409</b>
109	0,9354	0,4337	-0,0662	1,1351	-0,1165	0,82099	0,59844	0,38514	0,73079	0,64383	<b>0,68396</b>
115	0,7965	0,0233	0,1534	1,1480	1,0743	0,78915	0,51817	0,42964	0,73268	0,83486	<b>0,68376</b>
145	0,1479	1,1875	1,3723	1,4125	-0,1336	0,64043	0,74588	0,67662	0,77161	0,64107	<b>0,68270</b>
112	0,5365	0,0256	1,7080	0,8001	-0,0222	0,72953	0,51863	0,74467	0,68148	0,65894	<b>0,67516</b>
131	0,8313	0,2833	-0,2331	0,6293	0,7768	0,79712	0,56902	0,35131	0,65634	0,78714	<b>0,67135</b>
113	0,3277	1,0006	0,9302	1,0820	-0,4031	0,68165	0,70933	0,58704	0,72297	0,59783	<b>0,66915</b>
130	1,4080	-0,7677	-0,8574	0,5783	0,8355	0,92936	0,36347	0,22482	0,64884	0,79656	<b>0,66846</b>
110	0,8249	-0,1230	-0,3722	1,1929	0,9617	0,79567	0,48956	0,32313	0,73929	0,81680	<b>0,66469</b>
122	0,7031	0,8027	-0,3408	0,5871	0,1451	0,76773	0,67063	0,32949	0,65014	0,68578	<b>0,66343</b>
142	1,0461	1,9733	-1,7379	-0,9462	-0,4916	0,84638	0,89959	0,04639	0,42447	0,58364	<b>0,66308</b>
104	0,8060	0,0832	0,9494	0,5527	-0,8637	0,79133	0,52989	0,59094	0,64506	0,52394	<b>0,66147</b>
107	1,0072	-2,2406	1,1257	0,9825	2,0797	0,83746	0,07537	0,62665	0,70833	0,99617	<b>0,65910</b>
121	0,7626	1,3381	-0,8368	0,2315	-0,4754	0,78138	0,77535	0,22898	0,59780	0,58624	<b>0,65786</b>
101	0,5736	0,3307	0,6110	0,7393	-0,0983	0,73805	0,57830	0,52235	0,67253	0,64673	<b>0,65732</b>
99	0,8383	-0,1787	0,4549	0,5146	-0,1181	0,79873	0,47867	0,49074	0,63946	0,64356	<b>0,65406</b>
12	0,8872	0,8231	-0,4235	-2,1798	1,3426	0,80996	0,67460	0,31273	0,24290	0,87791	<b>0,65255</b>
103	0,1354	0,9630	1,4011	0,8058	-0,7528	0,63755	0,70199	0,68248	0,68232	0,54173	<b>0,65070</b>
89	1,0049	-0,2565	0,5395	0,3111	-0,9786	0,83693	0,46346	0,50787	0,60951	0,50551	<b>0,64927</b>
133	0,6801	1,4725	-1,2897	0,0717	-0,1833	0,76245	0,80164	0,13722	0,57428	0,63310	<b>0,64517</b>
55	0,6209	1,2820	-1,3544	-0,1273	0,6945	0,74889	0,76437	0,12410	0,54500	0,77392	<b>0,64343</b>

84	1,0910	-0,6777	0,4858	-1,0906	0,3076	0,85668	0,38107	0,49700	0,40321	0,71186	<b>0,63889</b>
6	0,5040	0,3546	0,6466	-1,3803	0,9730	0,72207	0,58298	0,52958	0,36057	0,81861	<b>0,63476</b>
9	0,8660	0,3408	-0,6407	-1,0551	0,6900	0,80509	0,58028	0,26873	0,40844	0,77321	<b>0,63340</b>
95	0,3273	0,7647	0,2313	-0,5708	0,6713	0,68157	0,66320	0,44541	0,47972	0,77021	<b>0,63100</b>
144	0,2670	0,6112	0,0284	1,0761	-0,0911	0,66773	0,63317	0,40430	0,72210	0,64789	<b>0,62866</b>
136	1,2538	-0,1857	-1,3379	0,5757	-1,0413	0,89400	0,47729	0,12745	0,64846	0,49545	<b>0,62689</b>
108	0,9838	-1,3365	-0,0750	1,3549	0,0287	0,83210	0,25222	0,38336	0,76313	0,66711	<b>0,62595</b>
47	0,0545	1,5708	-0,8807	0,3115	0,7669	0,61902	0,82086	0,22009	0,60957	0,78554	<b>0,62283</b>
83	0,8919	-1,0481	0,5331	-0,3963	0,1972	0,81102	0,30862	0,50657	0,50539	0,69414	<b>0,61701</b>
98	0,3566	-0,4029	0,7262	1,1744	-0,2031	0,68829	0,43481	0,54570	0,73658	0,62992	<b>0,61687</b>
94	0,1150	0,3158	1,3310	-0,1370	-0,1097	0,63289	0,57539	0,66826	0,54356	0,64491	<b>0,61676</b>
141	1,1903	0,0468	-1,5362	-0,6541	-0,4332	0,87945	0,52278	0,08725	0,46745	0,59300	<b>0,61372</b>
91	0,4802	-0,5385	0,7792	0,2476	-0,0208	0,71662	0,40829	0,55645	0,60017	0,65917	<b>0,61169</b>
38	0,5565	-0,0663	-0,1666	-0,8876	0,9855	0,73412	0,50065	0,36478	0,43309	0,82062	<b>0,60970</b>
139	0,2900	1,3808	-0,3028	2,9642	-4,1294	0,67301	0,78369	0,33720	1,00000	0,00000	<b>0,60845</b>
92	0,8061	-0,7362	0,3433	0,1204	-0,8319	0,79136	0,36962	0,46811	0,58144	0,52904	<b>0,60525</b>
97	0,5279	-0,6161	0,2970	0,5490	-0,2548	0,72756	0,39312	0,45873	0,64453	0,62162	<b>0,60068</b>
82	1,1007	-0,9761	-0,0657	-0,6513	-0,7951	0,85890	0,32271	0,38523	0,46786	0,53494	<b>0,59950</b>
96	0,3972	-0,4941	0,2771	0,0632	0,4616	0,69759	0,41698	0,45469	0,57302	0,73656	<b>0,59725</b>
40	0,2796	-0,0025	-1,0135	-0,0036	1,9595	0,67062	0,51314	0,19318	0,56320	0,97688	<b>0,59642</b>
138	0,7952	0,3144	-1,1759	1,8023	-2,7919	0,78885	0,57512	0,16026	0,82899	0,21458	<b>0,59551</b>
32	0,5018	0,1899	0,8459	-2,1899	-0,3474	0,72158	0,55076	0,56997	0,24142	0,60677	<b>0,59379</b>
116	0,2920	-0,4722	0,2315	0,6323	0,2809	0,67347	0,42126	0,44546	0,65678	0,70757	<b>0,59353</b>
93	0,2219	-0,4788	0,4660	0,1466	0,7470	0,65739	0,41996	0,49298	0,58530	0,78235	<b>0,59325</b>
4	0,3544	0,4198	-0,5588	-0,5057	0,3065	0,68778	0,59572	0,28531	0,48930	0,71168	<b>0,59214</b>
46	0,0782	1,0640	-1,0874	0,3491	0,2814	0,62444	0,72173	0,17821	0,61511	0,70765	<b>0,59089</b>
1	0,0463	0,4254	0,4379	-0,2021	-0,0699	0,61713	0,59682	0,48729	0,53398	0,65129	<b>0,58896</b>
140	0,3597	1,8174	-1,6756	0,7748	-2,4710	0,68899	0,86909	0,05902	0,67776	0,26607	<b>0,58590</b>
44	0,1310	0,8641	-0,9360	-0,0514	0,1242	0,63655	0,68264	0,20887	0,55616	0,68243	<b>0,58215</b>
3	0,4172	0,3001	-0,5692	-0,6601	-0,1971	0,70219	0,57232	0,28321	0,46657	0,63089	<b>0,58079</b>
11	-0,0031	0,5443	-0,0520	-0,4754	0,4798	0,60581	0,62008	0,38802	0,49375	0,73949	<b>0,58070</b>
7	0,4319	0,0528	-0,1631	-1,4248	0,1500	0,70556	0,52395	0,36550	0,35402	0,68658	<b>0,57676</b>
119	0,6456	-0,5860	-0,8869	1,2664	-1,1042	0,75454	0,39901	0,21882	0,75012	0,48536	<b>0,57667</b>
69	0,7345	-1,5398	-0,5001	-0,2379	1,1834	0,77494	0,21244	0,29721	0,52871	0,85236	<b>0,57542</b>
16	-0,6762	0,9740	1,9841	-0,8058	-0,0056	0,45147	0,70412	0,80060	0,44513	0,66161	<b>0,57459</b>
8	0,5148	0,0568	-0,6717	-0,8589	-0,2470	0,72455	0,52473	0,26245	0,43731	0,62288	<b>0,57324</b>
77	0,8946	-2,3740	-0,8095	0,4330	1,6362	0,81166	0,04929	0,23451	0,62746	0,92501	<b>0,57035</b>
39	-0,4955	0,3638	0,4417	0,0920	1,4893	0,49291	0,58477	0,48806	0,57726	0,90145	<b>0,56972</b>
36	-0,4175	1,1249	-0,7320	0,1174	1,2277	0,51078	0,73365	0,25022	0,58100	0,85948	<b>0,56948</b>
132	0,5365	0,3699	-1,3326	0,3843	-1,3980	0,72954	0,58597	0,12851	0,62028	0,43822	<b>0,56945</b>
100	0,4363	-1,2130	0,4279	1,3502	-1,3380	0,70657	0,27637	0,48525	0,76245	0,44784	<b>0,56596</b>
117	0,1234	-0,8912	0,3605	1,0022	-0,0544	0,63482	0,33932	0,47159	0,71122	0,65378	<b>0,56483</b>

75	0,5333	-1,1856	-0,5099	0,4304	0,2355	0,72879	0,28173	0,29523	0,62707	0,70029	<b>0,56355</b>
5	0,1826	0,4351	-0,3702	-0,6802	-0,5718	0,64838	0,59873	0,32354	0,46362	0,57078	<b>0,56153</b>
81	0,6487	-0,5652	-0,5079	-0,5905	-0,9233	0,75526	0,40308	0,29563	0,47681	0,51437	<b>0,55831</b>
134	0,8296	-0,7479	-1,7358	0,2017	-0,4976	0,79673	0,36733	0,04682	0,59342	0,58267	<b>0,55660</b>
80	0,8945	-0,9500	-1,1193	-0,8205	-0,5702	0,81161	0,32780	0,17174	0,44296	0,57102	<b>0,55237</b>
27	0,5878	-0,6731	-0,1653	-1,9864	0,0806	0,74129	0,38197	0,36505	0,27137	0,67544	<b>0,55184</b>
90	0,5532	-0,7455	0,4320	1,0105	-3,3325	0,73337	0,36781	0,48609	0,71246	0,12786	<b>0,55125</b>
74	0,5712	-0,8464	-0,4180	-0,6878	-0,4784	0,73750	0,34807	0,31385	0,46250	0,58576	<b>0,54916</b>
88	0,5245	-1,3103	-0,2891	0,0259	-0,2482	0,72679	0,25733	0,33996	0,56754	0,62270	<b>0,54746</b>
79	1,1039	-1,6797	-1,5931	-0,3476	-0,1545	0,85965	0,18509	0,07572	0,51257	0,63773	<b>0,54723</b>
120	0,2098	-0,9147	-0,4079	1,2223	-0,7102	0,65461	0,33471	0,31590	0,74363	0,54856	<b>0,54208</b>
148	-0,7354	0,3499	1,0996	-0,6683	0,6061	0,43789	0,58205	0,62137	0,46537	0,75975	<b>0,53389</b>
30	-0,1661	-0,7999	2,2091	-1,3903	-0,8728	0,56843	0,35716	0,84619	0,35910	0,52248	<b>0,53348</b>
24	-0,4768	1,0362	-0,3515	-1,1335	0,0844	0,49719	0,71630	0,32732	0,39689	0,67605	<b>0,52648</b>
31	-0,1236	-0,7919	1,4801	-1,3775	-0,4628	0,57818	0,35872	0,69848	0,36099	0,58827	<b>0,52552</b>
71	0,6511	-1,9471	-0,2527	-0,2718	-0,8679	0,75580	0,13278	0,34735	0,52373	0,52327	<b>0,51852</b>
41	-0,8873	-0,0262	-0,2368	0,4963	1,7147	0,40305	0,50850	0,35056	0,63677	0,93761	<b>0,50936</b>
54	-0,5039	-0,0536	-0,8674	0,0318	1,1912	0,49098	0,50314	0,22277	0,56841	0,85362	<b>0,50907</b>
33	0,3735	-0,9892	0,3711	-1,9234	-1,4675	0,69216	0,32013	0,47375	0,28063	0,42708	<b>0,50541</b>
10	0,2818	-0,7403	-0,8647	-0,8028	-0,8860	0,67112	0,36882	0,22332	0,44557	0,52036	<b>0,50303</b>
64	-0,4548	0,0166	-0,6779	-0,0011	0,0734	0,50223	0,51687	0,26118	0,56356	0,67429	<b>0,49985</b>
25	-0,4160	1,0898	-0,2825	-2,3856	-0,8001	0,51113	0,72678	0,34130	0,21261	0,53415	<b>0,49679</b>
78	0,6274	-2,4811	-0,6451	-0,2125	-0,3589	0,75038	0,02832	0,26783	0,53245	0,60492	<b>0,49518</b>
13	-0,4663	0,9421	-0,0694	-1,9728	-1,1292	0,49959	0,69789	0,38448	0,27337	0,48134	<b>0,49331</b>
59	-1,3202	0,5462	0,0748	0,1883	1,6974	0,30380	0,62046	0,41370	0,59143	0,93484	<b>0,49293</b>
35	-1,2261	0,9239	-0,2283	-0,2875	1,2681	0,32538	0,69434	0,35229	0,52141	0,86596	<b>0,49142</b>
52	-0,8730	0,0333	-0,8525	0,3421	1,5638	0,40634	0,52014	0,22580	0,61407	0,91340	<b>0,49012</b>
28	-0,4721	-0,7003	1,7646	-2,3428	-0,3310	0,49826	0,37665	0,75613	0,21891	0,60941	<b>0,48862</b>
43	-1,2340	0,8355	-0,3464	0,6492	0,5057	0,32357	0,67704	0,32835	0,65927	0,74363	<b>0,48622</b>
26	-0,7740	1,5557	0,0725	-3,8302	0,3064	0,42905	0,81790	0,41324	0,00000	0,71166	<b>0,48559</b>
14	-1,2014	1,1214	1,1004	-0,8004	-1,0884	0,33103	0,73296	0,62153	0,44592	0,48790	<b>0,48439</b>
19	-0,3557	-0,3390	-0,4298	-1,2561	0,2595	0,52495	0,44732	0,31145	0,37885	0,70413	<b>0,48333</b>
76	0,5577	-2,5747	-0,2168	-0,9413	-0,4170	0,73439	0,01003	0,35461	0,42519	0,59561	<b>0,48255</b>
37	-0,7784	-0,2213	-0,7779	0,2940	1,1167	0,42802	0,47033	0,24092	0,60700	0,84166	<b>0,48193</b>
17	-0,3524	-0,7847	0,4689	-0,9984	-0,9211	0,52570	0,36015	0,49356	0,41678	0,51473	<b>0,47349</b>
85	-1,4114	-0,1846	1,1286	0,4509	0,6327	0,28288	0,47752	0,62726	0,63009	0,76401	<b>0,46952</b>
15	-0,7992	0,6428	-0,5030	-0,6611	-1,3489	0,42326	0,63934	0,29662	0,46643	0,44609	<b>0,45693</b>
42	-1,6293	0,4948	0,4240	0,9178	0,1438	0,23291	0,61040	0,48447	0,69880	0,68558	<b>0,45441</b>
147	-0,9516	-0,1140	1,5684	-1,6953	-1,4135	0,38830	0,49133	0,71636	0,31422	0,43574	<b>0,45087</b>
29	-0,5717	-1,2463	1,5038	-1,6509	-0,9755	0,47544	0,26985	0,70328	0,32075	0,50601	<b>0,45056</b>
70	-0,9150	-0,4696	-0,2885	-0,2632	0,1852	0,39670	0,42177	0,34009	0,52499	0,69222	<b>0,44490</b>
63	-0,9692	0,3702	-1,0688	0,1494	-0,5370	0,38428	0,58603	0,18196	0,58571	0,57636	<b>0,44425</b>

20	-0,3998	-0,3990	-0,6151	-2,0133	-0,5385	0,51483	0,43559	0,27390	0,26741	0,57612	<b>0,44257</b>
21	-1,0371	-0,3475	0,7948	-1,1683	-0,7310	0,36870	0,44564	0,55961	0,39177	0,54523	<b>0,43441</b>
18	-2,1606	1,1501	1,5488	-0,9357	0,3216	0,11109	0,73858	0,71241	0,42602	0,71411	<b>0,43036</b>
60	-1,5724	-0,1103	-0,0122	0,4540	0,6646	0,24596	0,49205	0,39608	0,63054	0,76914	<b>0,42559</b>
45	-0,7903	-0,7364	-1,6870	0,6004	0,2151	0,42531	0,36958	0,05669	0,65209	0,69702	<b>0,42342</b>
34	-1,0786	-0,8521	1,3740	-0,6065	-1,4781	0,35919	0,34695	0,67698	0,47446	0,42537	<b>0,42280</b>
67	-0,5071	-1,2686	-1,4105	-0,2777	-0,3802	0,49025	0,26548	0,11273	0,52285	0,60152	<b>0,41036</b>
48	-1,8806	1,2693	-0,5686	-0,3441	0,1458	0,17530	0,76188	0,28333	0,51308	0,68589	<b>0,40988</b>
58	-1,4881	0,1352	-0,8810	0,4207	0,2113	0,26530	0,54007	0,22003	0,62564	0,69640	<b>0,40964</b>
49	-1,6563	-0,4603	-0,6878	0,5842	1,8273	0,22672	0,42359	0,25918	0,64970	0,95566	<b>0,40950</b>
68	-0,6901	-2,0460	-0,1775	-0,2407	-0,0541	0,44828	0,11343	0,36258	0,52830	0,65384	<b>0,40388</b>
87	-1,1450	-2,6259	1,2709	1,1862	-0,0977	0,34396	0,00000	0,65609	0,73830	0,64683	<b>0,40303</b>
56	-1,6698	0,0259	-0,5612	0,3772	0,5255	0,22364	0,51869	0,28482	0,61924	0,74682	<b>0,40209</b>
51	-2,3774	0,8853	-0,0272	1,1894	0,7560	0,06138	0,68679	0,39304	0,73879	0,78380	<b>0,40167</b>
57	-1,0227	-1,1979	-0,8879	0,1602	0,1741	0,37201	0,27933	0,21863	0,58730	0,69044	<b>0,39671</b>
73	-0,8957	-0,0684	-1,5136	-1,0086	-1,0912	0,40114	0,50025	0,09183	0,41527	0,48745	<b>0,39016</b>
50	-1,6583	-0,2439	-0,8522	0,4627	0,6506	0,22627	0,46591	0,22585	0,63182	0,76689	<b>0,38843</b>
23	-1,7713	0,0410	0,4824	0,2423	-1,1455	0,20035	0,52164	0,49630	0,59939	0,47873	<b>0,38775</b>
62	-1,2820	-0,5866	-1,0075	0,5018	-0,6523	0,31256	0,39888	0,19440	0,63758	0,55786	<b>0,38264</b>
72	-2,5102	-0,1362	1,3349	1,5361	0,1809	0,03093	0,48699	0,66905	0,78980	0,69153	<b>0,38244</b>
65	-1,5176	-0,1370	-1,9668	0,7328	0,6180	0,25852	0,48682	0,00000	0,67158	0,76165	<b>0,37913</b>
86	-1,8409	-1,1902	0,7599	0,8386	-0,1016	0,18441	0,28083	0,55253	0,68715	0,64620	<b>0,37150</b>
61	-2,5662	0,6717	-0,1819	1,0906	-0,4506	0,01808	0,64500	0,36169	0,72424	0,59021	<b>0,34592</b>
22	-1,9156	-0,7993	0,4263	-0,2482	-0,9189	0,16726	0,35729	0,48494	0,52719	0,51508	<b>0,33493</b>
66	-2,1877	-0,5204	-1,7210	1,0336	0,0612	0,10487	0,41183	0,04980	0,71585	0,67233	<b>0,30134</b>
53	-2,6451	-0,8944	-0,6385	1,3219	0,2424	0,00000	0,33869	0,26916	0,75828	0,70140	<b>0,28178</b>
<b>Máximo</b>	<b>1,7160</b>	<b>2,4867</b>	<b>2,9681</b>	<b>2,9642</b>	<b>2,1036</b>						<b>0,81221</b>
<b>Mínimo</b>	<b>-2,6451</b>	<b>-2,6259</b>	<b>-1,9668</b>	<b>-3,8302</b>	<b>-4,1294</b>						<b>0,28178</b>

FP: fator padronizado, IFS: Índice de Fertilidade do Solo

### 3.3.2 Análise de aglomerado

Esta análise agrupa os fatores pela distância euclidiana ao quadrado para a formação dos clusters. Os coeficientes da tabela 6 determina a distância entre os pontos amostrais e o mesmo auxilia a técnica da parada de formação dos agrupamentos no dendograma (Figura 10) pelo maior salto ou distância que ocorre entre as observações (linha vermelha).

Esta análise identificou três aglomerados de pontos amostrais, onde o primeiro aglomerado foi formado por 42 observações, o segundo por 79 observações e o terceiro por 27 observações. Essas aglomerações induzem a dizer que esses pontos amostrais tem certa semelhança entre si dentro de cada aglomerado. O número de aglomerados coincide com o número de propriedades onde o conjunto de amostras foram retiradas.

**Tabela 6** – Planejamento de aglomeração pela ligação de Ward.

Estágio	Cluster combinado		Coeficientes	O cluster de estágio é exibido primeiro		Próximo estágio	
	Cluster 1	Cluster 2		Cluster 1	Cluster 2		
1	3	8	,061	0	0	20	127,9349
2	93	96	,138	0	0	85	65,34969
3	50	56	,228	0	0	13	40,68492
4	37	54	,321	0	0	16	39,01494
5	44	46	,447	0	0	74	28,99234
6	124	126	,576	0	0	57	24,61787
7	11	95	,718	0	0	75	20,92963
8	74	81	,868	0	0	17	18,03235
9	110	115	1,025	0	0	26	16,21969
10	97	99	1,191	0	0	18	14,30477
11	121	133	1,362	0	0	54	12,7977
12	13	25	1,536	0	0	116	11,41305
13	50	58	1,711	3	0	45	10,6957
14	89	92	1,894	0	0	80	9,704233
15	125	127	2,078	0	0	106	9,107256
16	37	52	2,267	4	0	48	9,743635
17	10	74	2,488	0	8	39	8,892839
18	91	97	2,710	0	10	59	8,203766
19	113	145	2,932	0	0	32	7,673655
20	3	5	3,157	1	0	37	7,315489
21	75	88	3,388	0	0	82	6,888693
22	111	112	3,621	0	0	65	6,486896
23	116	117	3,856	0	0	30	6,371563
24	109	144	4,102	0	0	34	7,333459
25	9	38	4,402	0	0	73	7,233415
26	110	131	4,721	9	0	88	6,926616
27	35	59	5,048	0	0	61	6,668804
28	83	84	5,385	0	0	117	6,323697
29	64	70	5,725	0	0	86	5,969669
30	98	116	6,067	0	23	59	5,642515
31	119	120	6,409	0	0	81	5,405557
32	103	113	6,756	0	19	99	5,134649
33	36	47	7,102	0	0	74	4,912255
34	109	122	7,451	24	0	111	4,707577
35	30	31	7,802	0	0	44	4,500731
36	71	78	8,153	0	0	47	4,534059
37	3	4	8,523	20	0	97	4,548622
38	55	135	8,911	0	0	46	4,505782
39	10	80	9,312	17	0	56	4,403446
40	1	94	9,722	0	0	95	4,274333
41	17	21	10,138	0	0	84	4,194502

42	101	104	10,563	0	0	80	4,124919
43	7	27	10,999	0	0	78	4,043457
44	29	30	11,443	0	35	67	4,039963
45	50	60	11,906	13	0	112	3,929887
46	55	118	12,374	38	0	101	3,867739
47	71	76	12,852	36	0	94	3,742095
48	37	41	13,333	16	0	77	3,701536
49	132	136	13,827	0	0	108	3,695854
50	22	23	14,338	0	0	118	3,636942
51	57	67	14,859	0	0	64	3,556175
52	65	66	15,388	0	0	98	3,473445
53	42	43	15,922	0	0	87	3,455047
54	121	137	16,472	11	0	103	3,504823
55	62	63	17,050	0	0	86	3,480736
56	10	82	17,643	39	0	117	3,476819
57	124	128	18,256	6	0	63	3,422996
58	19	20	18,881	0	0	78	3,357687
59	91	98	19,515	18	30	85	3,31525
60	142	143	20,162	0	0	103	3,410762
61	35	39	20,850	27	0	113	3,317066
62	79	134	21,542	0	0	89	3,232559
63	124	129	22,238	57	0	83	3,215204
64	45	57	22,953	0	51	104	3,152445
65	102	111	23,676	0	22	99	3,109453
66	69	77	24,413	0	0	115	3,212293
67	28	29	25,197	0	44	114	3,112453
68	16	148	25,981	0	0	95	3,019339
69	114	146	26,766	0	0	130	2,93472
70	51	61	27,551	0	0	87	3,127877
71	15	73	28,413	0	0	121	3,147038
72	34	147	29,307	0	0	84	3,074579
73	2	9	30,208	0	25	76	3,002133
74	36	44	31,115	33	5	101	2,919008
75	11	24	32,023	7	0	97	3,018047
76	2	6	32,990	73	0	91	2,978728
77	37	49	33,972	48	0	96	2,913005
78	7	19	34,962	43	58	110	2,890569
79	85	86	35,973	0	0	90	2,838147
80	89	101	36,994	14	42	107	2,82398
81	100	119	38,038	0	31	109	2,788045
82	75	108	39,099	21	0	109	2,955303
83	106	124	40,254	0	63	106	2,987662
84	17	34	41,457	41	72	114	2,929787
85	91	93	42,672	59	2	107	2,928779
86	62	64	43,921	55	29	104	2,896236
87	42	51	45,193	53	70	100	2,846045

88	110	130	46,480	26	0	111	2,875669
89	79	141	47,816	62	0	108	2,843651
90	72	85	49,176	0	79	118	2,870773
91	2	12	50,588	76	0	122	2,923322
92	32	33	52,066	0	0	110	3,004199
93	14	18	53,631	0	0	119	2,957972
94	68	71	55,217	0	47	132	2,915213
95	1	16	56,827	40	68	119	2,885413
96	37	40	58,466	77	0	113	2,899807
97	3	11	60,162	37	75	122	2,884153
98	53	65	61,897	0	52	127	2,896124
99	102	103	63,690	65	32	105	2,896068
100	42	48	65,534	87	0	112	2,908719
101	36	55	67,440	74	46	125	2,85942
102	138	140	69,369	0	0	120	2,988369
103	121	142	71,442	54	60	125	2,903394
104	45	62	73,516	64	86	121	3,253159
105	102	123	75,907	99	0	126	3,170436
106	106	125	78,314	83	15	139	3,276235
107	89	91	80,880	80	85	128	3,236241
108	79	132	83,497	89	49	134	3,186695
109	75	100	86,158	82	81	128	3,093101
110	7	32	88,823	78	92	129	3,092432
111	109	110	91,570	34	88	131	3,008989
112	42	50	94,325	100	45	127	2,977057
113	35	37	97,133	61	96	136	2,943399
114	17	28	99,992	84	67	133	3,013309
115	69	107	103,005	66	0	132	3,109862
116	13	26	106,209	12	0	137	3,060059
117	10	83	109,459	56	28	129	3,190719
118	22	72	112,951	50	90	123	3,163101
119	1	14	116,524	95	93	133	3,715745
120	138	139	120,854	102	0	124	3,61783
121	15	45	125,226	71	104	134	3,717276
122	2	3	129,881	91	97	135	3,777514
123	22	87	134,787	118	0	138	3,682727
124	90	138	139,751	0	120	143	3,858731
125	36	121	145,144	101	103	143	3,73146
126	102	105	150,560	105	0	130	3,673675
127	42	53	156,091	112	98	136	3,705662
128	75	89	161,875	109	107	131	3,632153
129	7	10	167,755	110	117	135	3,839833
130	102	114	174,196	126	69	139	4,772767
131	75	109	182,510	128	111	140	5,026954
132	68	69	191,685	94	115	140	6,179956
133	1	17	203,531	119	114	142	5,899063

134	15	79	215,537	121	108	141	5,621134
135	2	7	227,653	122	129	137	6,306766
136	35	42	242,010	113	127	138	6,316819
137	2	13	257,298	135	116	142	8,001444
138	22	35	277,885	123	136	147	7,816605
139	102	106	299,606	130	106	145	7,572892
140	68	75	322,295	132	131	141	8,852675
141	15	68	350,827	134	140	144	9,91251
142	1	2	385,603	133	137	146	11,84623
143	36	90	431,282	125	124	144	12,03862
144	15	36	483,203	141	143	145	14,14036
<b>145</b>	<b>15</b>	<b>102</b>	<b>551,529</b>	<b>144</b>	<b>139</b>	<b>146</b>	<b>15,64166</b>
146	1	15	637,797	142	145	147	15,24034
147	1	22	735,000	146	138	0	-100

Fonte: Resultado da Pesquisa

Avançando na análise multivariada optou-se pela análise discriminante para identificar se os grupos amostrais identificados na análise de aglomerados pertencem às mesmas propriedades objeto da pesquisa.

### 3.3.3 Análise discriminante

Esta técnica estatística classifica indivíduos ou objetos em grupos mutuamente exclusivos com base em um conjunto de variáveis independentes.

O teste M de Box foi significativo a 1%, rejeitando a hipótese nula, o que caracteriza que as matrizes de covariâncias entre grupos de amostras não são iguais (Tabela 7).

**Tabela 7 - Resultados do teste M de Box.**

M de caixa		1243,973
F	Aprox.	3,649
	df1	272
	df2	19883,629
	Sig.	,000

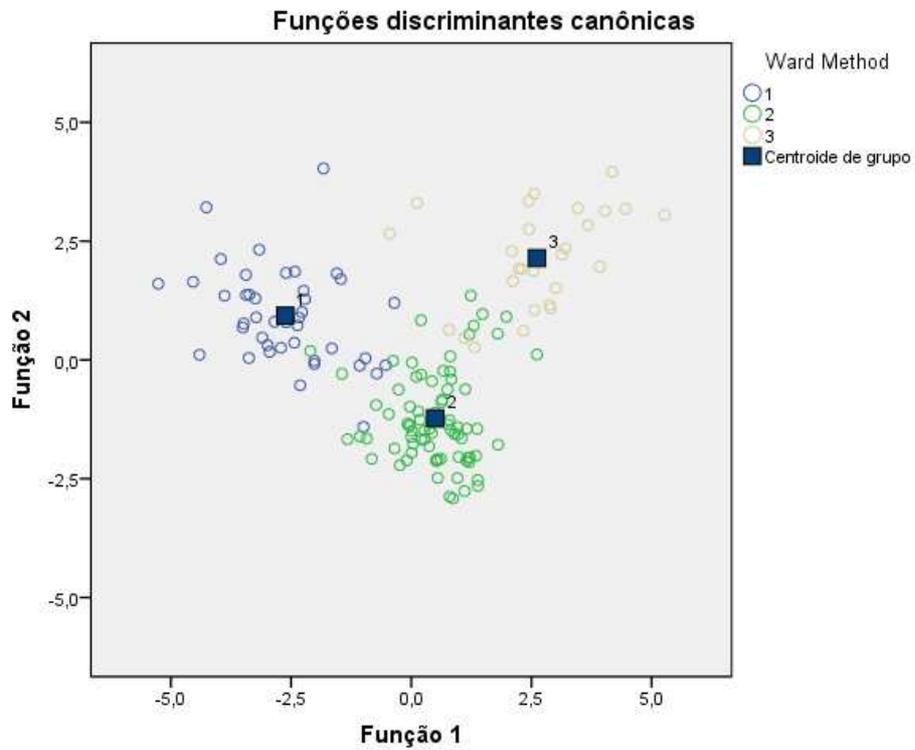
Testa hipótese nula de matrizes de covariáveis de população igual.

O teste de hipótese nula foi rejeitada (significativo a 1%) uma vez que as duas funções nos três grupos não são iguais (Tabela 8).

**Tabela 8 – Teste de hipótese Lambda de Wilks.**

Teste de funções	Lambda de Wilks	Chi-quadrado	Df	Sig.
1 até 2	,078	351,558	32	,000
2	,341	147,819	15	,000

A figura 9 mostra que no conjunto de dados amostrais ocorre uma interseção na nuvem de dados, onde 5 amostras originalmente pertencentes à propriedade rural 1 esta no grupo 2. Dos 79 pontos amostrais da propriedade rural 2, apenas seis amostras foram descaracterizadas do grupo 2 e dos 27 pontos amostrais da propriedade rural 3, quatro não pertencem ao grupo 3.



**Figura 9** – Função discriminante canônica dos pontos amostrais dos três grupos com seus respectivos centróides.

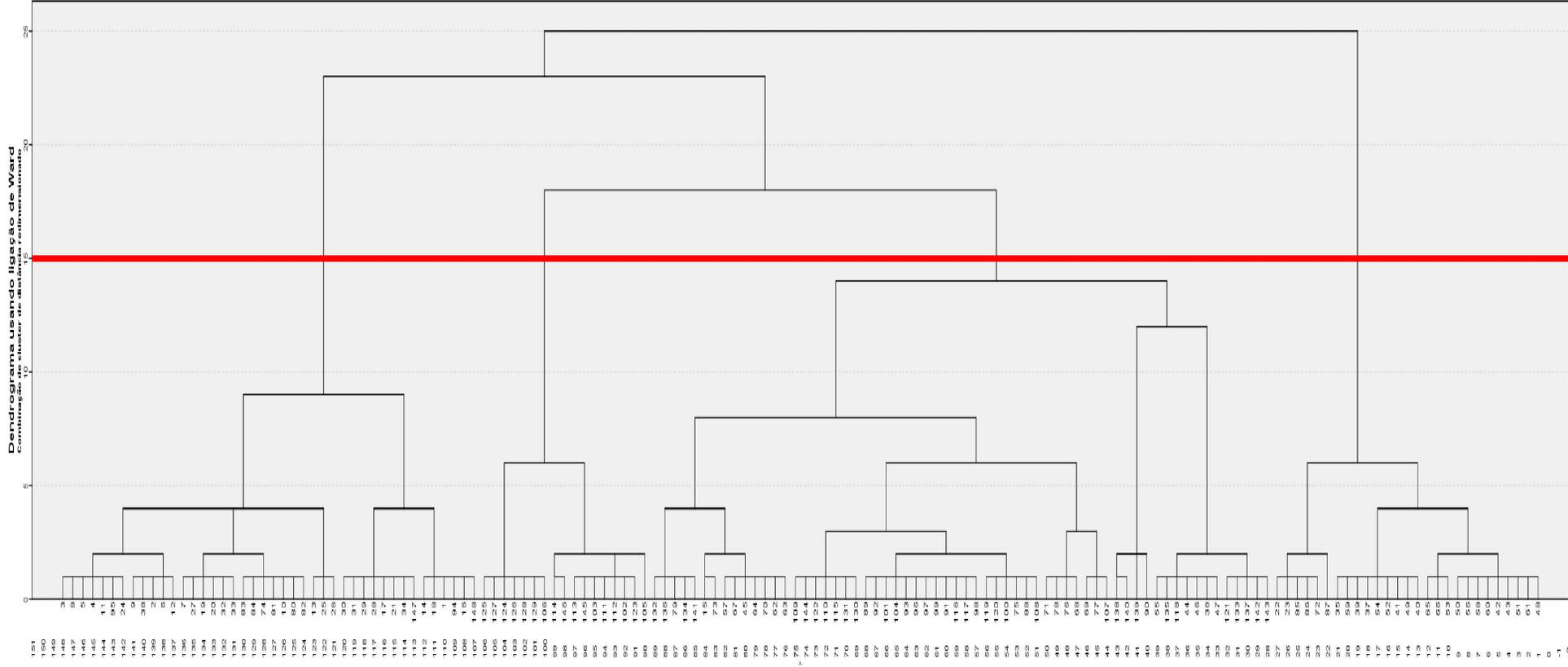


Figura 10 – Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos evidenciando a formação de grupos, segundo o conjunto de amostras de solo.

A tabela 9 mostra que 89,9% dos casos amostrados foram corretamente classificados, sendo que o grupo 1 atingiu 88,1%, o grupo 2 com 92,4% e o grupo 3 com 85,2%. As funções analisadas servem para classificar as amostras de solo que poderiam não estar contidas no grupo de amostras de cada propriedade.

**Tabela 9** – Classificação pelo método de Ward

Ward Method		Associação ao grupo previsto			Total
		1	2	3	
Contagem	1	<b>37</b>	5	0	42
	2	2	<b>73</b>	4	79
	3	1	3	<b>23</b>	27
Original	1	<b>88,1</b>	11,9	,0	100,0
	2	2,5	<b>92,4</b>	5,1	100,0
	3	3,7	11,1	<b>85,2</b>	100,0

Obs.: 89,9% de casos originais foram agrupados corretamente.

De uma maneira geral, as análises multivariadas desse bando de dados induz afirmar que apenas 20 ha apresentou um baixo nível de fertilidade, enquanto 640 ha apresentaram níveis de fertilidade de satisfatório e 80 ha indicou ter alto nível de fertilidade do solo.

Este resultado pode servir como orientação para técnicos e agricultores a adotar medidas de tomadas de decisão, atuando no conjunto de variáveis que definem os níveis de fertilidade do solo.

### 3.4 CONCLUSÕES

O uso de análise multivariada, em especial a análise de fatores, análise de aglomerados e análise discriminantes mostraram eficientes para o estudo proposto, uma vez que a análise de variância poderia não mostrar eficiência devido as inter-relações entre as variáveis causando viés nos resultados.

Baseado nessas análises, do universo estudado neste trabalho, aproximadamente 97% da área amostrada apresentou fertilidade do solo de satisfatória a alta, o que induz ao uso de quantidades reduzidas de fertilizantes na maior parte da área de cultivo.

Embora esse tipo de amostragem espacial pudesse ser analisado pela geoestatística, o que daria maior robustez nos resultados, a ausência de coordenadas geográficas do banco de dados impede que esta análise seja feita com eficiência.

## REFERÊNCIAS

- BOGNOLA, I. A. et al. **Geoestatística integrada com estatística multivariada e geoprocessamento na definição de unidades de manejo para o Pinus taeda**. In: Inamasu, R. Y.; Naime, J. M.; Resende, A. V.; Bassoi, L. H. e Bernardi, A. C. C., editores. **Agricultura de precisão: Um novo olhar**. São Carlos: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; 2011. p.227-31.
- BOLFE, E. L; GOMES, J. B. V e FONTES, H. R. **Variabilidade espacial de atributos do solo como subsídio para produção integrada de frutas em perímetro irrigado no nordeste do Brasil**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 67-74.
- BOLFE, E. L; GOMES, J. B. V e FONTES, H. R. **Variabilidade espacial de atributos do solo como subsídio para produção integrada de frutas em perímetro irrigado no nordeste do Brasil**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 67-74.
- BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. **Principles of geographic information systems**. Oxford: Oxford University Press, 1998. 333p.
- CARVALHO, J. O. P. **Inventário diagnóstico da regeneração natural da vegetação em área da Floresta Nacional do Tapajós**. Belém, EMBRAPACPATU, 1980. 20p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 2).
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 1997, 212p.
- FREITAS, L. et al. **Análise multivariada na avaliação de atributos de solos com diferentes texturas cultivados com cana-de-açúcar**. R Ci Agron. 2014;57:224-33.
- GAMA, Z. J. C; SANTANA, A. C. de; MENDES, F. A. T.e KHAN, A. S. **Índice de desempenho competitivo das empresas de móveis da região metropolitana de Belém**. Revista de Economia e Agronegócio, 5(1):127-160, 2007.
- GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V. e MATA, J. D. V. **Análises exploratórias e geoestatísticas da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho**. Acta Scientiarum, v. 23, p. 1149-1157, 2001.
- GONÇALVES, C. A.; DIAS, A. T. E MUNIZ, R. M. **Análise discriminante das relações entre fatores estratégicos, indústria e desempenho em organizações brasileiras atuantes na indústria manufatureira**. RAC, Curitiba, v. 12, n. 2, p. 287-311, Abr./Jun. 2008.
- HAIR, J; BLACK W. C; BABIN, B. J; ANDERSON, R. E.; e TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de Dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

- OLIVEIRA, C. M. de; SANTANA, A. C. de; HOMMA, A. K. O. **Os custos de produção e a rentabilidade da soja nos municípios de Santarém e Belterra, estado do Pará.** Acta Amazonica, v. 43, n. 1, 2013.
- RESENDE, M.; LANI, J. L.; FEITOZA, L. R. **Assentamento de pequenos agricultores no estado do Espírito Santo: ambiente, homem e instituições.** Brasília (DF): Secretaria de Assuntos Estratégicos; Vitória (ES): EMCAPA; Viçosa (MG): UFV, 1993. 152p.
- SANTANA, A. C. de. **Análise do desempenho competitivo das agroindústrias de polpa de frutas do Estado do Pará.** Teoria e Evidência Econômica, v.14, p.36-62, 2007.
- SANTANA, A. C. de. **Elementos de economia, agronegócio e desenvolvimento local.** Belém: GTZ; TUD; UFRA, 2005. P.133-142. (Série Acadêmica, 01).
- SILVA, J. N. M; CARVALHO, J. O. P. e LOPES, J. C. A. **Inventário florestal de uma área experimental na Floresta Nacional do Tapajós.** Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 10/11, p. 38-110, Jun./Dez. 1985.
- SILVA, S. A. et al. **Variabilidade de atributos físicos e químicos do solo e produção de feijoeiro cultivado em sistema de cultivo mínimo com irrigação.** R. Bras. Ci. Solo, 39:598-607, 2015
- SILVA, S. A.; Lima, J. S. S.; Xavier, A. C.; Teixeira, M. M. **Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café.** R Bras Ci Solo. 2010;34:15-22.
- VIEIRA, S. R.; BRANCALIÃO, S. R.; GREGO, C. R. e MARTINS, A. L. M. **Variabilidade espacial de atributos físicos de um argissolo vermelho-amarelo cultivado com leguminosas consorciada com a seringueira.** Bragantia, Campinas, v.69, n.2, p.423-432, 2010.
- VIEIRA, S. R. et al. **Variabilidade espacial de atributos físicos de um argissolo vermelho-amarelo cultivado com leguminosas consorciada com a seringueira.** Bragantia, Campinas, v.69, n.2, p.423-432, 2010.

#### 4. Variação espacial dos atributos físicos do solo em sistema integração lavoura-pecuária-floresta

##### RESUMO

A variabilidade dos solos agricultáveis, invariavelmente, não é considerada pelos agricultores, que optam, por razões de simplificação, aplicar práticas homogêneas de manejo do solo para o total da área cultivada. Os sistemas agroflorestais tem como objetivo otimizar o uso da terra, conciliando a produção florestal com a produção de alimentos, conservando o solo e diminuindo a pressão pelo uso da terra para produção agrícola. A variabilidade espacial dos atributos dos solos é resultado de processos pedogenéticos e pode ser demonstrada por resultados dos levantamentos e análises dos solos, bem como pelas diferenças encontradas nas produções das plantas. As árvores são responsáveis por diversos benefícios ao solo, protegendo-o do impacto das gotas de chuva, mantendo o teor de matéria orgânica e melhorando suas propriedades físicas. A geoestatística tem-se mostrado de grande utilidade na ciência do solo para caracterizar e estudar a variação espacial de suas propriedades. Este trabalho tem como objetivo investigar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em um sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF). O estudo foi realizado num iLPF na estação experimental da EMBRAPA em Terra Alta – PA. O sistema foi formado por espécies arbóreas mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) e culturas anuais de milho (*Zea mays*) e feijão (*Vigna unguiculata*) que foram plantadas em sistema de plantio direto e em sucessão por três anos consecutivos. A pastagem (*Brachiaria ruziziensis*) foi implantada no 4º ano em sucessão à cultura do milho. Foram coletadas amostras de solo indeformadas em quarenta pontos de interseção de um grid de malha regular nas profundidades 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m para determinar os atributos físicos do solo: densidade do solo (Ds), densidade da partícula (Dp), porosidade total (PT), macroporosidade (MacP) e microporosidade (MicP). Todos os atributos apresentaram forte dependência espacial na área amostrada nas três camadas, com exceção da macroporosidade na camada 0,05-0,10 m, onde essa dependência foi moderada. Observou-se correlação negativa entre a porosidade total e densidade do solo, bem como a relação inversa entre a macroporosidade e a microporosidade. Os fatores extrínsecos do solo influenciaram na composição da variabilidade espacial da macroporosidade e da microporosidade. A técnica de krigagem ordinária demonstrou ser eficiente na estimativa de pontos não amostrados nessa área de estudo, e que 20 m entre os pontos observados são adequados para a confiabilidade da dependência espacial.

PALAVRAS-CHAVE: Análise variográfica; Agrofloresta; Propriedades do solo; Manejo do solo

##### ABSTRACT

The variability of agricultural soils, invariably, is not considered by farmers who choose, for reasons of simplification, apply homogeneous practices of soil management in the total cultivated area. Agroforestry systems aims to optimize land use, reconciling forest production with food production, conserving soil and reducing the pressure for land use for agricultural production. The spatial variability of soil attributes is the result of pedogenetic processes and can be demonstrated by results of surveys and soil analysis as well as by differences in plant production. The trees are responsible for many benefits to the ground, protecting it from the impact of raindrops, keeping the organic matter content and improve their physical properties. The geostatistics has proved very useful in soil science to characterize and study the spatial variation of its properties. This work aims to investigate the spatial variability of soil physical attributes in Crop-Livestock-Forest integration system (iLPF). The study was conducted in a iLPF in a experimental station of EMBRAPA in Terra Alta - PA. The system is made up of tree species african mahogany (*Khaya ivorensis* A. Chev.) and annual crops of corn (*Zea mays*) and beans (*Vigna unguiculata*) that were planted in no-till system and in succession for three consecutive years. The pasture (*Brachiaria ruziziensis*) was established in the 4th year in succession to corn. Undisturbed soil samples were collected in forty points of intersection of a regular mesh grid depths from 0.00-0.05 m, 0.05-0.10 m and 0.10-0.20 m to determine the physical attributes of soil: soil density (SD), particle density (PD), total porosity (TP), macroporosity (macro) and microporosity (micro). All attributes presented strong spatial dependence in the area sampled in three layers, with the exception of macroporosity in the 0.05-0.10 m layer, where this dependence was moderate. There was a negative correlation between total porosity and soil density as well as the inverse relationship between macroporosity and microporosity. Extrinsic soil factors influence the composition of the spatial variability of macroporosity and microporosity. The ordinary kriging technique proved to be efficient in estimating unsampled points in this study area, and 20 m between the observed points are suitable for the reliability of spatial dependence.

KEYWORD: Variogram analysis; Agroforestry; Soil properties; Soil management

## 4.1 INTRODUÇÃO

A variabilidade dos solos agricultáveis, invariavelmente, não é considerada pelos agricultores, que optam, por razões de simplificação, aplicar práticas homogêneas de manejo do solo para o total da área cultivada. Diferentemente dos sistemas tradicionais, os sistemas agroflorestais constituem sistemas de uso e ocupação do solo em que plantas lenhosas perenes são manejadas em associação com plantas herbáceas, culturas agrícolas e/ou forrageiras e/ou em integração com animais, em uma mesma unidade de manejo, de acordo com um arranjo espacial e temporal, com alta diversidade de espécies e interações ecológicas entre estes componentes.

Os sistemas agroflorestais tem como objetivo otimizar o uso da terra, conciliando a produção florestal com a produção de alimentos, conservando o solo e diminuindo a pressão pelo uso da terra para produção agrícola. Os sistemas agrossilvipastoris especializados em produção agrícola, as árvores têm um papel secundário na economia, fornecendo lenha e principalmente biomassa para a formação de liteira importante na ciclagem dos nutrientes, além de forragem e sombra para os animais.

Aos sistemas agroflorestais tem sido atribuída a melhoria nas propriedades físico-químicas de solos degradados, bem como na atividade de microrganismos, considerando a possibilidade de um grande número de fontes de matéria orgânica.

A sustentabilidade dos sistemas agroflorestais é função das interações do fluxo de energia, da ciclagem de nutrientes e da biodiversidade do sistema. Na avaliação da sustentabilidade, o monitoramento dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo é fundamental.

A variabilidade espacial dos atributos dos solos é resultado de processos pedogenéticos e pode ser demonstrada por resultados dos levantamentos e análises dos solos, bem como pelas diferenças encontradas nas produções das plantas (SILVA et al., 2010). Segundo Silva e Chaves (2001), com exceção do pH dos solos, os atributos químicos apresentam maior variação que os atributos físicos.

A continuidade da variabilidade espacial dos atributos químicos é menor que a continuidade da variabilidade espacial da textura do solo. O modelo exponencial e o modelo esférico representam, respectivamente, média e baixa continuidade da variabilidade espacial; já o modelo gaussiano, representa elevada continuidade da variabilidade espacial. Estes ajustes podem ser explicados pela maior facilidade de alteração que o homem pode promover no solo, que está relacionada aos atributos químicos e aos atributos físicos associados à

estrutura (grau de compactação, porosidade, agregação, etc.), que variam em função do tipo de preparo do solo, tipo de cultivo e, principalmente, das práticas de fertilização (SILVA; CHAVES, 2001).

Segundo Young (1997), as árvores são responsáveis por diversos benefícios ao solo, protegendo-o do impacto das gotas de chuva, mantendo o teor de matéria orgânica e melhorando suas propriedades físicas. O solo sob sistema agroflorestal apresenta menor densidade aparente, maior porosidade, menor resistência à penetração e maior estabilidade de agregados, quando comparado ao mesmo solo sob sistema de plantio convencional (Carvalho et al., 2004).

Santos et al. (2012) descrevendo Kiehl, (1979) relata que a macroporosidade está correlacionada com o crescimento das plantas e seus valores ótimos se encontram entre 0,20 e 0,30 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>. Valores superiores a esses restringem a capacidade de retenção de água do solo e valores inferiores a 0,10 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup> prejudicam o desenvolvimento das raízes, a infiltração de água e aeração do solo.

A melhoria da qualidade física do solo é promovida pelo sistema integração lavoura-pecuária-floresta em recuperação de áreas degradadas (Assis et al., 2015).

Estudos feitos na Amazônia com pastagens, florestas e agroflorestas, permitiram uma melhor compreensão do comportamento dos atributos físicos do solo nesse bioma, com a aplicação de técnicas de geoestatística (Oliveira et al., 2013) e (Aquino et al., 2014).

A geoestatística tem-se mostrado de grande utilidade na ciência do solo para caracterizar e estudar a variação espacial de suas propriedades. Assim, ao se estudar a fertilidade de um solo, há de se fazer um levantamento completo da mesma e caracterizar sua variabilidade espacial. Neste contexto, a utilização de variogramas e métodos de interpolação, como a krigagem, definem o grau de dependência no espaço de uma grandeza medida e o domínio de cada amostragem (Manziona et al., 2002). Esta técnica permite conhecer a continuidade de uma variável de interesse, em toda uma área de estudo, demonstrando a variação espacial do fenômeno através de mapas de variabilidade. Uma das grandes aplicações da Geoestatística é a possibilidade de construção de mapas temáticos que permitam analisar a variável em estudo.

Este trabalho tem como objetivo investigar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em um sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 Área de estudos

O estudo foi realizado num sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) na estação experimental da EMBRAPA em Terra Alta – PA, localizado no km 33 da rodovia PA 136, com coordenadas geográficas S  $-1^{\circ}1'28''$  e W  $-47^{\circ}53'52''$ . A área está a 35 metros acima do nível do mar com temperatura média anual máxima de  $31,7^{\circ}\text{C}$  e mínima  $22,1^{\circ}\text{C}$ , precipitação média anual de 2.586,5 mm, o clima foi classificado como Am de acordo com a classificação de Köppen, solo é um Latossolo e a pedo-paisagem em forma de Terraço e a área está inserido no bioma Amazônia.

### 4.2.2 Descrição do sistema

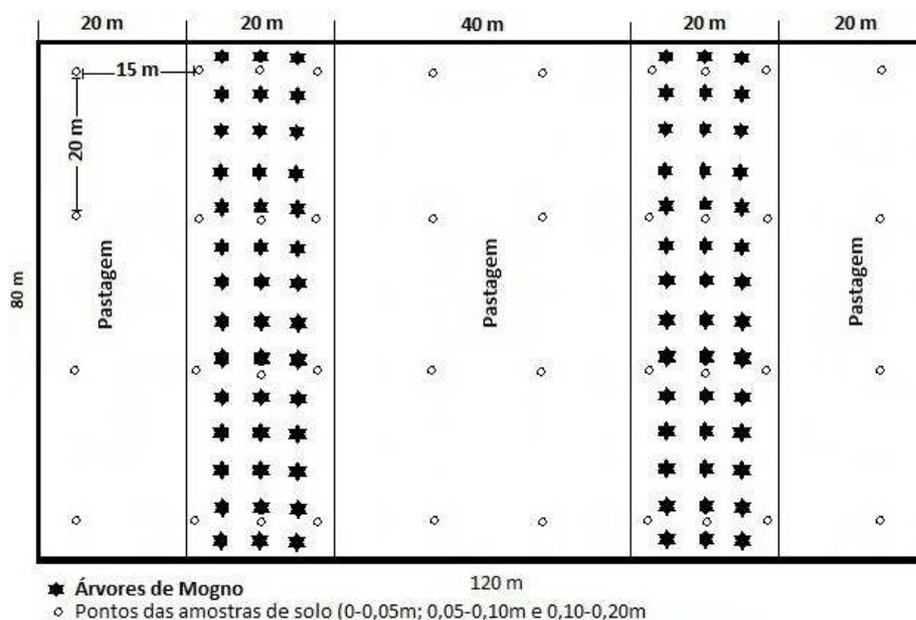
O sistema iLPF foi implantado em 2009 numa área de 15 ha (Figura 11), formado por espécies arbóreas mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.), teca (*Tectona grandis* L.f.) e culturas anuais de milho (*Zea mays*) e feijão (*Vigna unguiculata*) que foram plantadas em sistema de plantio direto e em sucessão por três anos consecutivos. A pastagem (*Brachiaria ruziziensis*) foi implantada no 4º ano em sucessão à cultura do milho. As árvores foram plantadas no espaçamento de 5 x 5m em faixas com três fileiras, sendo que as faixas foram espaçadas entre si numa distância de 40m, onde foram implantadas as culturas anuais e a pastagem.



**Figura 11** – Sistema de Integração Lavoura, Pacuária e Floresta da EMBRAPA de Terra Alta – PA com destaque em amarelo e a área de coleta das amostras de solo em vermelho.

### 4.2.3 Procedimento de campo

Selecionou-se uma área de 80 x 120 m dentro do sistema iLPF onde havia espécie arbórea mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) intercalada com pastagem (*Brachiaria ruziziensis*) (Figura 12). As coletas do solo foram feitas em julho de 2013. Utilizou-se um trado de amostra indeformada com anéis de aço inoxidável para coletar as amostras do solo no cruzamento da malha retangular de 15 x 20 m na área da pastagem e 7,5 m x 20 m na área das árvores num total de 40 pontos amostrais. Foram retiradas três amostras por cada ponto nas profundidades de 0,00 – 0,05 m; 0,05 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m, totalizando 120 amostras. Os anéis com o solo indeformado foram identificados, embalados em filme plástico e acondicionados em uma maleta apropriada para transporte até o laboratório.



**Figura 12** – Área do Sistema de Integração Lavoura, Pecuária e Floresta onde foi montado o grid para a coleta das amostras do solo.

### 4.2.4 Procedimento laboratorial

A partir dos anéis de aço inoxidável com as amostras do solo indeformado determinou-se os atributos físicos do solo: densidade do solo ( $D_s$ ), densidade da partícula ( $D_p$ ), porosidade total (PT), macroporosidade (MacP) e microporosidade (MicP). A densidade do solo e a densidade de partículas do solo serão determinadas utilizando o método do balão volumétrico, a porosidade total será obtida pela relação matemática entre as densidades do solo e de partículas. A MicP foi determinada utilizando o método da mesa de tensão, sendo que a MacP é a diferença entre a PT e a MicP, seguindo o método EMBRAPA (1997).

#### 4.2.5 Delineamento experimental e análise estatística

Na área experimental instalou-se um grid com malhas regulares com um total de 40 pontos, os quais foram georreferenciados com auxílio de um receptor GPS. As coletas foram realizadas no cruzamento das malhas do grid. Os dados foram previamente analisados pela estatística descritiva para determinação de informações básicas como média, variância, desvio padrão, quartis superiores e inferiores, assimetria, kurtose e teste de normalidade de Kolmogorov – Smirnov. Num segundo momento os dados foram analisados pelas técnicas de geoestatística onde se determinou histogramas, gráficos de scatterplot onde mostrou o coeficiente de correlação entre as variáveis, os variogramas e os mapas de krigagem, utilizando o software de estatística R (módulos GeoR e gstat).

#### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva apresentada na Tabela 1 serve apenas para comparação de suas características com outras massas de dados e como análise preliminar para a análise geoestatística que abordaremos mais adiante, pois esta com a análise dos semivariogramas e mapas de krigagem é mais adequada para subsidiar a inferência sobre uma estrutura de dependência espacial dos dados em questão.

Os valores do coeficiente de variação (CV) da Ds, PT e Dp foram baixos, independente da profundidade observada, indicando menor dispersão dos dados em torno da média. O CV da MacP foi alto para as profundidades 0,00 – 0,05 m e 0,05-0,10 m e moderada para a profundidade de 0,10-0,20 m indicando maior dispersão dos dados. Quanto a microporosidade (MicP), seu CV foi moderado, independente da profundidade. Bahia (2011), adotou o critério de classificação para o CV proposto por Warrick e Nielsen (1980), onde: baixo ( $CV < 12\%$ ), médio ( $12 < CV < 60\%$ ) e alto ( $CV > 60\%$ ). Apesar da maioria dos atributos estudados apresentarem CV com menor variabilidade, é necessário o uso da geoestatística para observar a variabilidade espacial dos dados.

Os atributos físicos do solo apresentam variabilidade que podem ser de origem intrínseca ou extrínseca. Intrinsecamente possui forte dependência espacial, causada por origem pedogenética, alterações naturais no solo, como intemperismo de minerais, acúmulo de matéria orgânica e outros, enquanto a variabilidade extrínseca possui menor dependência espacial, sendo causada por ações antropogênicas, como práticas culturais, sistemas de cultivos e criações, erosão, compactação, etc. (Cambardella et al., 1994).

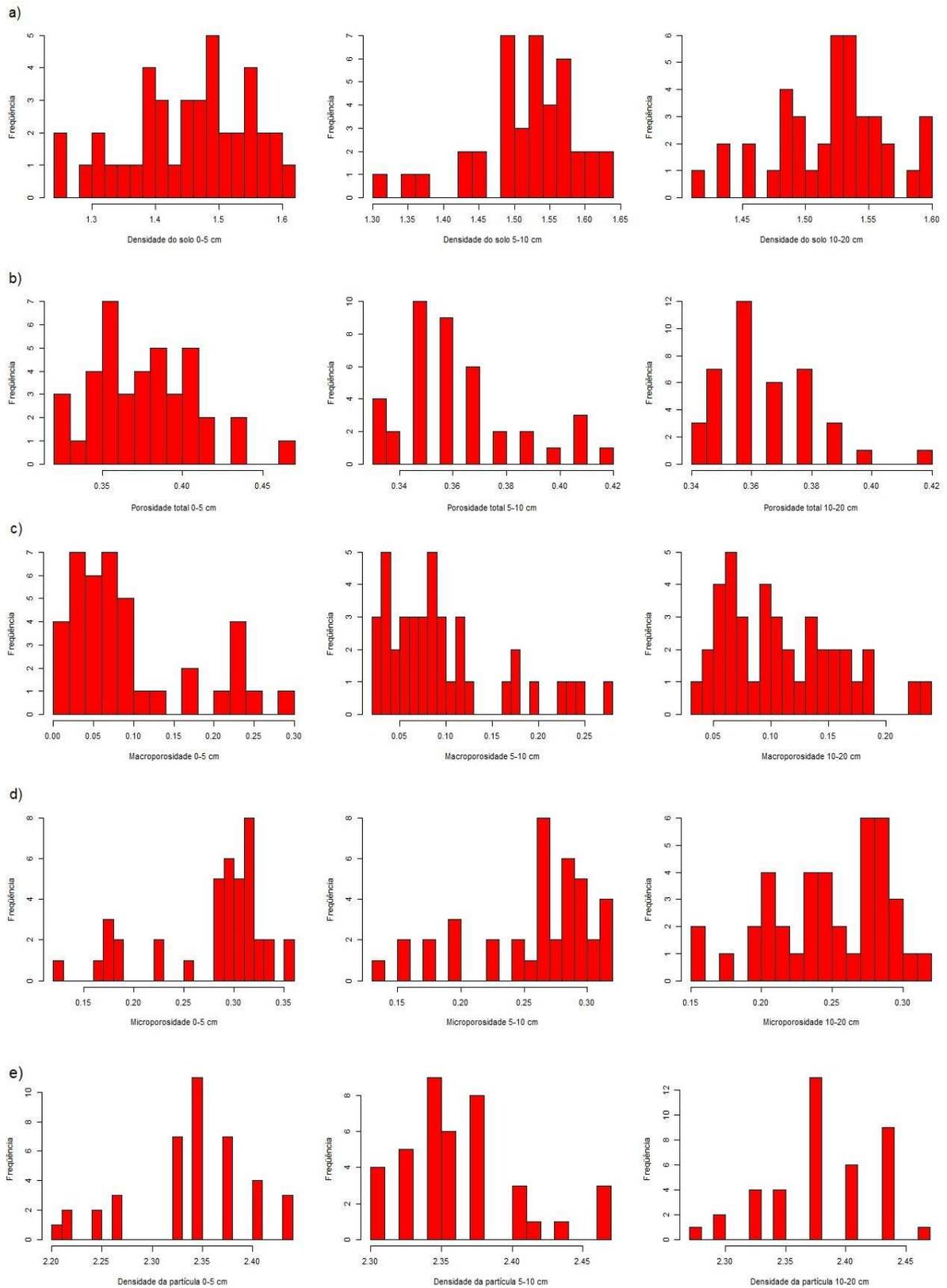
A densidade do solo mostrou-se levemente assimétrica à direita em todas as profundidades, sendo um pouco mais acentuada na profundidade de 0,05-0,10 m (Tabela 6 e

Figura 13a). Comportamento semelhante ocorre também com a MicP com assimetria à direita. A Dp mostrou um pouco de assimetria à direita nas profundidades 0,00-0,05 m e 0,10-0,20 m, enquanto que na profundidade de 0,05-0,10 m esta assimetria foi para à esquerda. A PT e MicP apresentaram assimetria à esquerda. Essas assimetrias induzem a uma anormalidade dos dados, o que vai interferir na modelagem da análise geoestatística a ser executada num segundo momento. Fez-se necessário utilizar o teste de normalidade de Kolmogorov – Smirnov para determinar o nível de significância dessas anormalidades, sendo que a MacP na profundidade 0,00-0,05 m, MicP nas profundidades 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m e Dp na profundidade 0,05-0,10 m foram rejeitadas no teste de normalidade ( $p < 0,05$ ). A falta de normalidade das variáveis citadas, não é limitante para a análise geoestatística. As variáveis MicP 0,00-0,05 m e MicP 0,05-0,10 m foram rejeitadas no teste de normalidade, entretanto sua assimetria está a direita (Tabela 6 e Figura 13d), podendo ser aplicada a krigagem ordinária (KO), por outro lado, as variáveis MacP 0,00-0,05 m (Figura c) e Dp 0,05-0,10 m por apresentarem assimetria à esquerda (Figura 3e), os dados originais foram transformados para se aplicar a krigagem logarítmica de acordo com Yamamoto & Landim (2013).

A Ds variou entre 1,23 e 1,63  $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$  nas três profundidades e sua média variou de 1,45 a 1,52  $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$  com uma tendência de crescimento nas camadas inferiores. A densidade do solo tem importância fundamental na qualidade do solo. Altas densidades dificultam o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, reduzindo a absorção de nutrientes e água reduzindo a produção de biomassa. Nicoloso et al. (2008), confirmaram essa restrição em solos argilosos com alta densidade. Kamimura et al. (2013) observaram redução do desenvolvimento radicular das plantas de café em um Latossolo Vermelho-Amarelo com textura muito argilosa na camada 0,00-0,03 m quando a densidade do solo variou de 0,83 a 1,65  $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Por outro lado Albuquerque & Reinert (2001) não observaram redução do sistema radicular em plantas de milho em um Argissolo Vermelho distrófico arênico com densidades variando de 1,29 a 1,71  $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ .

Com relação a PT, variou de 0,32 a 0,47  $\text{m}^{-3}\cdot\text{m}^{-3}$  nas três camadas observadas, sendo que a maior média (0,38  $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ ) foi na camada de 0,00-0,05 m.

A macroporosidade, na camada 0,00-0,05 m, variou de 0,003 a 0,292  $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ , enquanto nas camadas 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m essa variação foi de 0,020 a 0,280  $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ . Esses valores baixos e a grande variação na camada de 0,00-0,05 m pode ser consequência do fluxo de máquinas e equipamentos nas entrelinhas das árvores e pelo pisoteio dos bubalinos nos piquetes das pastagens. Megda et al. (2008), observaram que o crescimento das raízes pode ser prejudicado quando a macroporosidade do solo é reduzida a valor inferior a 0,15  $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ .



**Figura 13** – Histograma dos atributos físicos do solo de um sistema iLPF nas três camadas estudadas.

Observou-se que a microporosidade teve maior amplitude na camada 0,00-0,05 m, variando de 0,12 a 0,36  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ , enquanto a menor variação ocorreu na camada 0,10-0,20 m (0,15 a 0,32  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ), sendo esta camada a de menor microporosidade.

Assis et al. (2015), em um iLPF de eucalipto e pastagem sob Latossolo Vermelho-Amarelo distroférico, textura argilosa, observaram que a densidade do solo (1,14 – 1,37  $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ), macroporosidade (0,081 – 0,216  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ) e microporosidade (0,373 – 0,435  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ) e a porosidade total (0,490 – 0,569  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ) foram melhorados pela presença de árvores quando comparada com área de pastagem solteira nas camadas de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m.

A densidade da partícula variou de 2,20 a 2,47  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , sendo que as menores densidades ocorreram na camada 0,00-0,05 m.

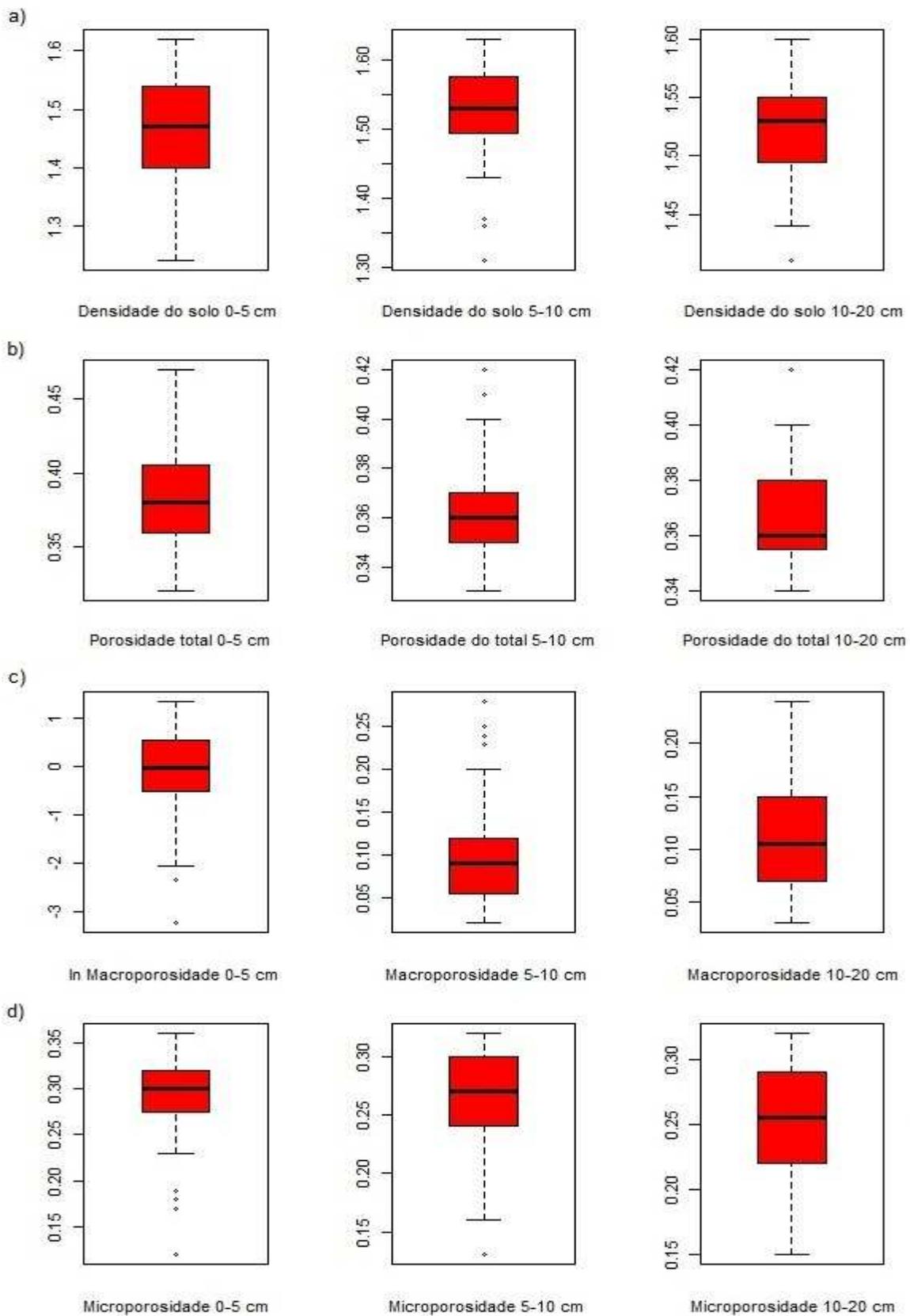
Os resultados da análise geoestatística mostraram que todas as variáveis analisadas apresentaram dependência espacial (Tabela 7). Todos os semivariogramas se ajustaram ao modelo esférico, alcançando maior número de pontos.

A relação entre o efeito pepita ( $C_0$ ) e o patamar ( $C_0+C_1$ ) mostrou uma forte dependência espacial em todas as variáveis em todas as profundidades, com exceção da macroporosidade na profundidade 0,05 – 0,10 m onde esta dependência (25,00%) foi moderada, representado pelo IDE da Tabela 2, seguindo os critérios de Chambardella et al. (1994) que classificou: forte < 25%, moderada de 26 a 75%, fraca > 75%. Esta forte dependência está relacionada com as variações intrínsecas das características dos solos como textura e a mineralogia.

O efeito pepita ( $C_0$ ) representa a variância não explicada, frequentemente causada por erros de medições interferindo na dependência espacial (Vendrusculo et al., 2004), que na análise da (Tabela 7) mostrou baixa influência em todas as variáveis.

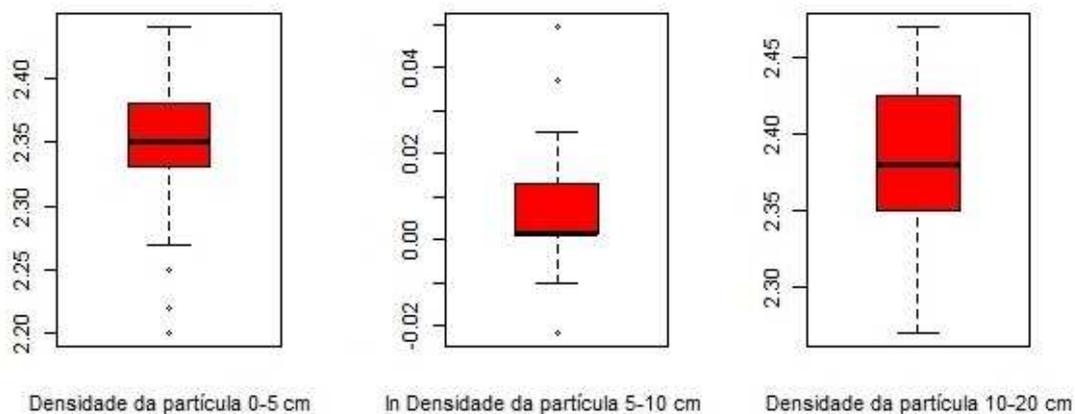
O alcance variou de 25 a 40 metros (Tabela 7), mostrando a distância máxima que as variáveis apresentam relação de dependência espacial com seus vizinhos. É um parâmetro importante, pois indica a zona de influência da amostra no semivariograma para auxiliar a interpolação na krigagem (Vendrusculo et al., 2004). Megda et al. (2008) em um Latossolo Vermelho distroférico, cultivado com feijão, obtiveram alcances variando de 29,2 a 97,8 m para macroporosidade, 11,7 a 27,6 m para microporosidade e 10,4 a 44,0 m para porosidade total. Alcances de dependência espacial para macroporosidade (124 m), microporosidade (107 m), porosidade total (32 m) e densidade aparente do solo (124 m) foram observados por dos Santos et al, (2012) em um Latossolo Vermelho distroférico cultivado com soja.

A figura 14, apresenta os gráficos boxplots das variáveis Ds, PT, MacP, MicP e Ds, possibilitando a visualização dos os valores discrepantes, dos quartís e da variabilidade das



**Figura 14** – Boxplot da densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo de um sistema iLPF nas três profundidades estudadas.

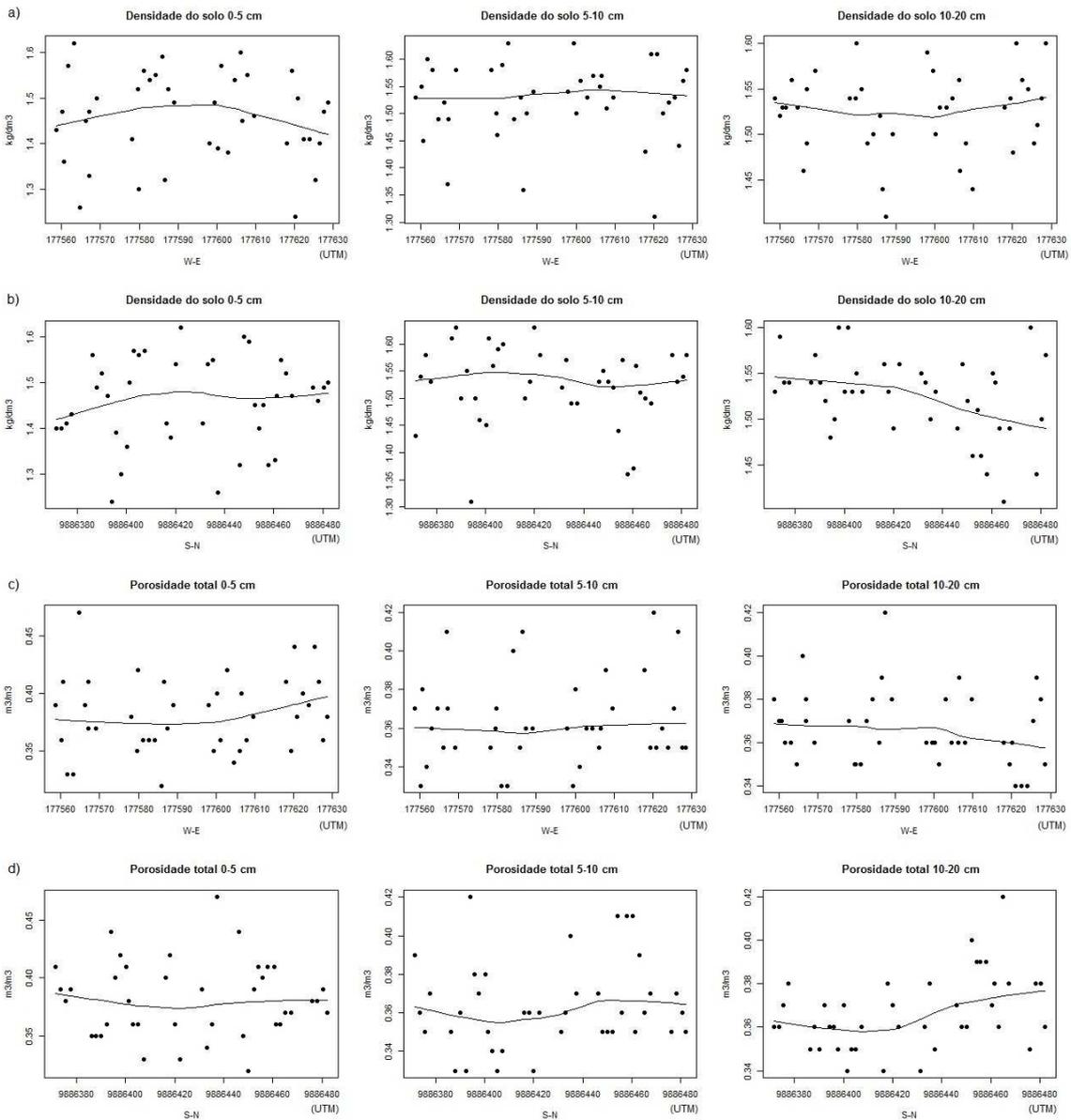
variáveis. A Ds nas profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m apresentou valores discrepantes para baixo (Figura 14a), enquanto a PT apresentou valores discrepantes para cima nas mesmas profundidades (Figura 14b). A MacP mostrou valores discrepantes para baixo na profundidade de 0,00-0,05 m, já na profundidade 0,05-0,10 m valores extremos apareceram em cima (Figura 14c). Microporosidade nas profundidades 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m com valores discrepantes para baixo (Figura 14d), enquanto a Dp apareceram valores extremos para baixo na camada 0,00-0,05 m e nos dois extremos na camada 0,05-0,10 m, neste último caso deslocando a mediana para a base inferior do quartil (Figura 15). A presença de valores extremos pode está associado a erros amostrais, entretanto nas variáveis estudadas esses valores podem ter sido influenciados também pelo manejo do sistema iLPF com a utilização de corredores para transporte de máquinas e equipamentos nas entrelinhas das árvores do sistema e também pelo pisoteio dos animais na pastagem do sistema. Megda et al. (2008), observaram influência do transporte de máquinas e equipamentos nos atributos físicos do solo.



**Figura 15** – Boxplot da densidade da partícula do solo de um sistema iLPF nas três profundidades estudadas.

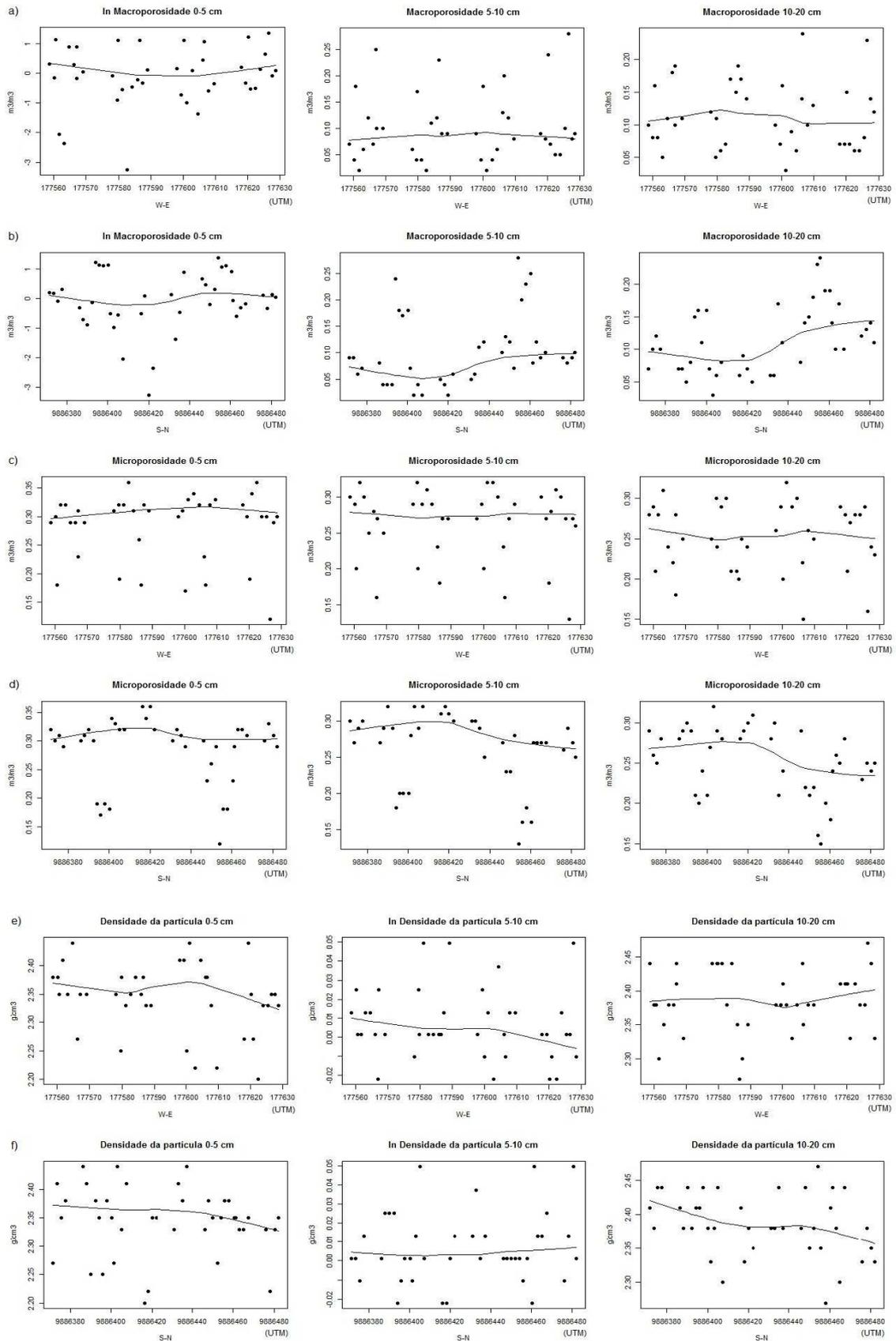
Segundo Yamamoto & Landim (2013), a estacionaridade dos dados é uma ferramenta importante na análise semivariográfica, pois auxilia na identificação da anisotropia.

A estacionaridade dos dados (Figura 16) mostrou presença de anisotropia nas variáveis Ds na profundidade 0,10-0,20 m (Figura 16a e 16b), PT nas profundidades 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m (Figura 6c e 6d), MicP nas profundidades 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m (Figura 17c e 17d), Dp nas profundidades 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m (Figura 17e e 17f). A anisotropia é identificada quando a função semivariográfica muda conforme a direção dos pares (Yamamoto & Landim, 2013). Os mapas dos semivariogramas de superfície (Figura 18) confirmaram a presença de anisotropia nas variáveis anteriores, entretanto mostrou-se menos sensíveis devido ao baixo número de amostras dos dados.

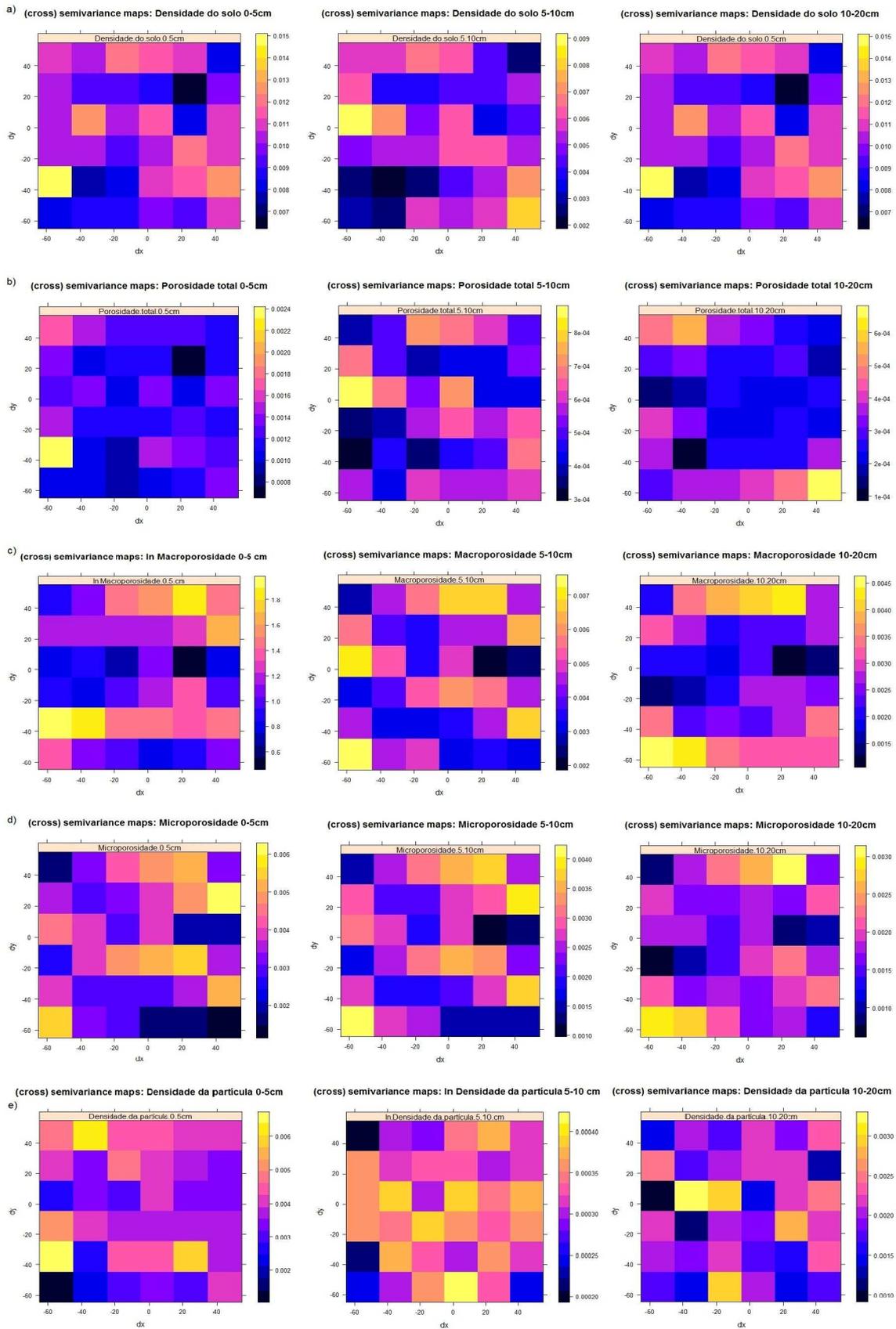


**Figura 16** – Estacionaridade dos dados dos atributos físicos densidade do solo e porosidade total do solo nos sentidos S-N e W-E.

Todos os atributos físicos do solo ajustaram-se ao modelo exponencial (Tabela 7). O modelo exponencial evidencia uma estrutura de correlação espacial de convergência gradativa crescente com a distância até certo ponto (alcance), a partir do qual a semivariância torna-se constante (patamar), restringindo a área de influência amostral. O efeito pepita ( $C_0$ ) foi nulo para a todos os atributos em todas as camadas amostradas. Segundo Cambardella et al. (1994), o efeito pepita representa a variabilidade experimental completamente aleatória, não estruturada espacialmente. Frequentemente, tal efeito é causado pela não detecção da estrutura de variabilidade espacial em distâncias menores do que a menor distância de amostragem utilizada.



**Figura 17** – Estacionaridade dos dados dos atributos físicos macroporosidade, microporosidade e densidade da partícula do solo nos sentidos S-N e W-E.



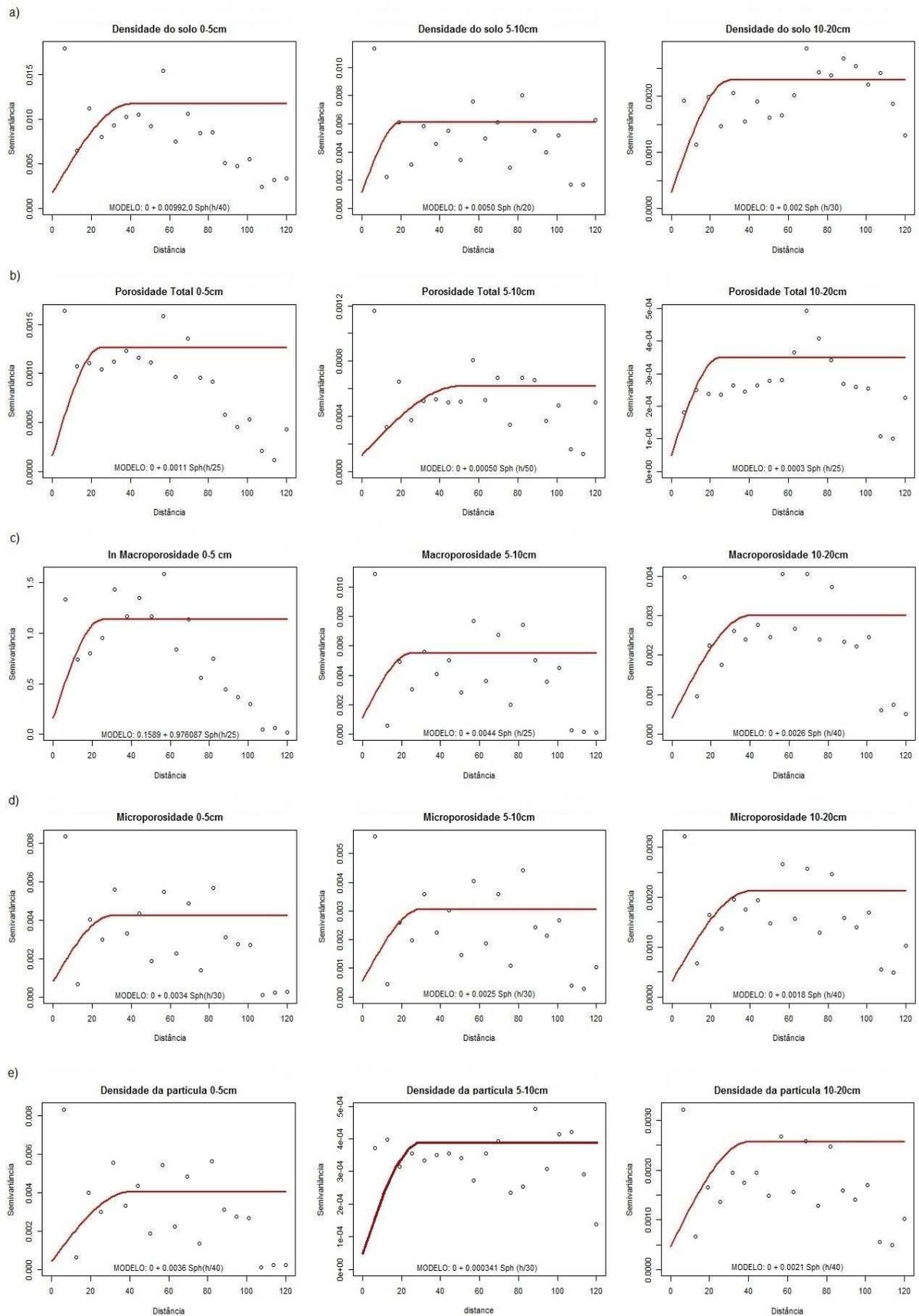
**Figura 18** – Semivariogramas de superfície dos atributos físicos do solo de um sistema iLPF.

O alcance é de fundamental importância para a interpretação dos variogramas, pois indica a distância até onde os pontos amostrais estão correlacionados entre si (Vieira et al., 1983; Vieira, 1997), ou seja, os pontos localizados em uma área, cujo raio seja o alcance, são mais semelhantes entre si do que os separados por distâncias maiores. Este alcance variou de 20 a 50 m entre os atributos estudados neste trabalho (Tabela 7).

A densidade do solo apresentou alcance de 20 m para a camada de 0,05-0,10 m, indicando uma baixa continuidade estrutural do solo no iLPF. A PT apresentou o maior valor de alcance (50 m) na camada de 0,05-0,10 m seguido pelas variáveis Ds e Dp na camada 0,00-0,05 m, MacP, MicP e Dp na camada 0,10-0,20 m todas com alcance de 40 m (Figura 19). Aquino et al. (2014) observou alcances variando de 12,00 a 36,30 m para as mesmas variáveis estudadas, enquanto Wang et al. (2013) observou alcance de 80 m para o atributo Porosidade Total. Oliveira et al. (2013), observou alcances variando de 15,83 a 69,51 m para as variáveis Ds, PT, MicP e MacP em um Cambissolo háplico com agroflorestas no sul do Amazonas. O manejo agroflorestal propõe maior valor médio de alcance dos atributos físicos do solo, justificando o fato desse sistema de manejo causar menos impacto ao solo e, assim, os atributos do solo apresentarem menor variabilidade (Oliveira et al., 2013). Com base nos valores do IDE sugeridos por Cambardella et al. (1994), verificou-se que apenas a MacP na camada 0,05-0,10 m apresentou moderada dependência espacial, enquanto as demais variáveis apresentaram forte dependência espacial em todas as camadas (Figura 19 e Tabela 7).

Com o conhecimento do semivariograma da variável e da sua estrutura de dependência espacial por meio da krigagem, pode-se realizar a interpolação de valores em qualquer ponto na área de estudo, sem tendência e com variância mínima. Os parâmetros dos modelos ajustados para Ds, PT, MacP, MicP e Dp permitiram que fossem obtidos, por krigagem ordinária, os mapas da distribuição dos atributos físicos desse solo (Figura 20).

Observando os mapas gerados após a interpolação dos dados, constata-se que os valores para densidade do solo (Figura 20a) variaram de 1,23 e 1,63  $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , sendo que os maiores valores de Ds na camada 0,00 – 0,05 m (1,50 a 1,60  $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) abrangem grande parte do mapa, estendendo-se da parte central a sudoeste da área. Os menores valores (1,35 e 1,45  $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) concentram-se em diversas áreas, principalmente no leste, noroeste e região sul do mapa. Na camada 0,05-0,10 m a densidade do solo apresentou uma maior uniformidade variando de 1,45 e 1,55  $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$  na maior parte da área, salvo uma pequena área a sudoeste que variou de 1,57 e 1,62  $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Na camada 0,10-0,20 m ocorreu uma maior variação na densidade do solo, apresentando



**Figura 19** – Semivariogramas experimentais modelo ajustado dos atributos do solo de um sistema iLPF.

áreas com maiores densidades nas regiões de sudoeste a sul e da parte central para sudeste do mapa ( $1,55$  e  $1,60 \text{ kg.dm}^{-3}$ ), por outro lado apresentou uma área na região norte do mapa com menores densidades variando de  $1,40$  e  $1,50 \text{ kg.dm}^{-3}$ . De uma maneira geral, a camada intermediária apresentou-se menos densa que as demais. Apesar da densidade do solo influenciar no desenvolvimento radicular das plantas, Albuquerque et al. (2001) não observou redução do sistema radicular em plantas de milho em densidades do solo variando de  $1,29$  a  $1,71 \text{ kg.dm}^{-3}$ .

A porosidade total do solo variou de  $0,32$  a  $0,47 \text{ m}^{-3}.\text{m}^{-3}$  (Figura 20b), sendo que na maior área da camada  $0,00-0,05 \text{ m}$  a porosidade variou de  $0,38$  a  $0,40 \text{ m}^{-3}.\text{m}^{-3}$ , apresentando duas pequenas áreas nas regiões central e sudoeste onde a porosidade apresentou-se inferior a  $0,35 \text{ m}^{-3}.\text{m}^{-3}$ . Na camada  $0,05-0,10 \text{ m}$ , permaneceu uma pequena área a sudoeste com porosidade inferior a  $0,35 \text{ m}^{-3}.\text{m}^{-3}$ , por outro lado surgem pequenas outras áreas ao norte com porosidades em torno de  $0,40 \text{ m}^{-3}.\text{m}^{-3}$ . Ao aprofundar mais um pouco nesse solo, observaram-se grandes áreas ao leste, sul e sudeste do mapa com porosidade inferiores a  $0,36 \text{ m}^{-3}.\text{m}^{-3}$ . De uma maneira geral, fica evidente nos mapas que à medida que vai aprofundando no perfil do solo, a porosidade total vai reduzindo, provavelmente em função da redução natural da matéria orgânica nas camadas mais profundas desse solo.

O crescimento das plantas está correlacionada com a macroporosidade e seus valores ótimos se encontram entre  $0,20$  e  $0,30 \text{ m}^{-3}.\text{m}^{-3}$  (Kamimura et. al., 2013), e que valores superiores a esses restringem a capacidade de retenção de água do solo e valores inferiores a  $0,10 \text{ m}^{-3}.\text{m}^{-3}$  prejudicam o desenvolvimento das raízes, a infiltração de água e aeração do solo. Na figura 20c, os valores da macroporosidade da camada  $0,00-0,05 \text{ m}$ , foram transformados pra log normal em função da correção da normalidade para aplicar a krigagem ordinária, entretanto observou-se a mesma tendência das demais camadas, o surgimento de duas faixas no sentido leste-oeste na parte inferior e superior dos mapas. Nessas faixas a macroporosidade apresenta valores superiores a  $0,15 \text{ m}^{-3}.\text{m}^{-3}$ , por outro lado apresentam também faixas no sentido leste-oeste na parte central e na parte inferior, onde a macroporosidade atinge valores inferiores a  $0,05 \text{ m}^{-3}.\text{m}^{-3}$ , que pode ser prejudicial ao desenvolvimento das plantas (Megda et al., 2008).

As faixas com os maiores valores de macroporosidade, coincidem com as faixas de árvores existentes no iLPF, o que podem estar sendo influenciada pela ação das raízes e pelo acúmulo de matéria orgânica oriunda da formação da liteira.

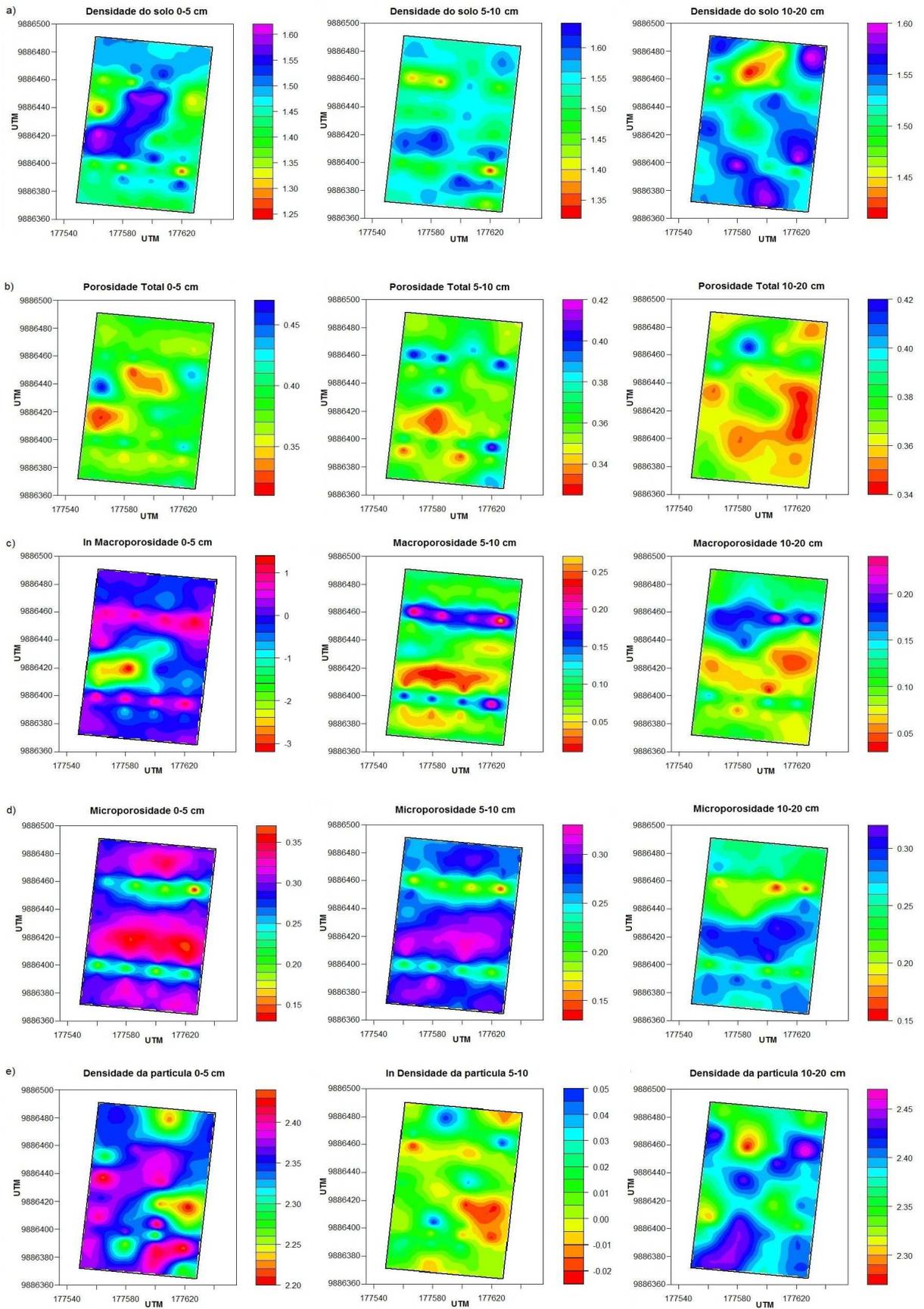


Figura 20 – Mapas de krigagem dos atributos físicos do solo de um sistema iLPF.

Os valores de microporosidade variaram de 0,12 a 0,36  $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$  (Figura 20d). Os maiores valores (0,30 a 0,35  $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$ ) ocorreram na maior parte do mapa da camada 0,00-0,05 m, estendendo-se no sentido leste-oeste nos terços superior, médio e inferior do mapa. É nítido o surgimento de duas faixas no sentido leste-oeste nas extremidades do terço médio com valores entre 0,20 a 0,25  $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$ , essas faixas estão localizadas nas faixas das árvores do iLPF. Nas camadas subseqüentes, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, há uma gradativa redução dos valores da microporosidade à medida que se aprofunda no perfil do solo. Os maiores valores da microporosidade registrados nas três faixas da camada 0,00-0,05 m pode estar associados à maior disponibilidade de matéria orgânica causado pela pastagem e pelos resíduos de esterco dos bubalinos depositados na área.

A densidade das partículas do solo variou de 2,20 a 2,47  $\text{g}.\text{cm}^{-3}$ , e seguiu um padrão aleatorizado (Figura 20e). Observou-se que as menores densidades (2,20 a 2,44  $\text{g}.\text{cm}^{-3}$ , encontravam-se na camada 0,00-0,05 m, o que induz afirmar que esses resultados foram influenciados pelos teores de matéria orgânica da camada superficial do solo.

A estatística descritiva apresentada na Tabela 6 mostrou tendências similares aos mapas de krigagem. Observou-se correlação negativa entre a porosidade total e densidade do solo, bem como a relação inversa entre a macroporosidade e a microporosidade, sendo que esses dois últimos atributos podem ter sido influenciados pelas árvores e/ou pelo manejo do plantio direto entre as faixas das árvores durante a implantação do sistema iLPF.

#### 4.4 CONCLUSÕES

Nesse estudo combinou-se a estatística descritiva clássica e a geoestatística para facilitar a compreensão da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo. O modelo semivariográfico mais adequado foi o exponencial para todas as variáveis. Todos os atributos apresentaram forte dependência espacial na área amostrada, com exceção da macroporosidade na camada 0,05-0,10 m onde essa dependência foi moderada.

Os fatores extrínsecos do solo influenciaram na composição da variabilidade espacial da macroporosidade e da microporosidade.

A técnica de krigagem ordinária demonstrou ser eficiente na estimativa de pontos não amostrados nessa área de estudo, e que 20 m entre os pontos observados são adequados para a confiabilidade da dependência espacial.

Os resultados induzem a um maior aprofundamento para entender melhor a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo quando correlacionados com outros atributos do solo, como os químicos e biológicos.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.. Densidade radicular do milho considerando os atributos de um solo com horizonte B textural. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 539-549, Sept. 2001. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832001000300003&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832001000300003&lng=en&nrm=iso)>. access on 08 Aug. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832001000300003>.

Aquino, R. E. D., Campos, M. C. C., Marques Júnior, J., Oliveira, I. A. D., Mantovaneli, B. C., & Soares, M. D. R. Geostatistics in assessment of physical properties in a latossolo (oxisol) under native forest and grassland in Manicoré, Amazonas, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(2), 397-406, 2014.

Assis, P. C., Stone, L. F., Medeiros, J. C., Madari, B. E., Oliveira, J. D. M., & Wruck, F. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 19(4), 309-316, 2015.

Cambardella, C.A.; Moorman, T.B; Novack, J.M; Parkin, T.B; Karlen, D.L; Turco R.F.; Knopka, A.E. Field-scale variability of soil proprieties in central Iowa soils. *Soil Science Society America Journal*, Medison, v.58, p.1240-1248, 1994.

CARVALHO, R; GOEDERT, W. J E ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.39, n.11, p.1153-1155, nov. 2004 (Nota científica).

DOS SANTOS, Diego et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho após cultivo de soja. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 843-848, 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997. 212p.

KAMIMURA, Karina Marie et al . Variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo vermelho-amarelo, sob lavoura cafeeira. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 877-888, Aug. 2013. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832013000400006&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000400006&lng=en&nrm=iso)>. access on 08 Aug. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000400006>.

MANZIONE, R. L.; RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial multivariada na avaliação de parâmetros químicos do solo. In: BALASTREIRE, L. A. Avanços na Agricultura de Precisão no Brasil no período de 1999-2001. Piracicaba, 2002. 347 p.

MEGDA, Marcio Mahmoud et al . Correlação linear e espacial entre a produtividade de feijão e a porosidade de um Latossolo Vermelho de Selvíria (MS). **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 781-788, Apr. 2008. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832008000200032&](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000200032&)

lng=en&nrm=iso>. access on 08 Aug. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200032>.

Nicoloso, Rodrigo da Silveira, Amado, Telmo Jorge Carneiro, Schneider, Sérgio, Lanzasova, Mastrângello Enívar, Girardello, Vitor Cauduro, & Bragagnolo, Jardes. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(4), 1723-1734, 2008.

Oliveira, Ivanildo Amorim de, Campos, Milton César Costa, Soares, Marcelo Dayron Rodrigues, Aquino, Renato Eleotério de, Marques Júnior, José, & Nascimento, Ediana Pereira do. Variabilidade espacial de atributos físicos em um cambissolo háplico, sob diferentes usos na região sul do Amazonas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37(4), 1103-1112, 2013.

SILVA, P. C. M.; CHAVES, L. H. G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 5, n. 03, p. 431-436, 2001.

SILVA, S. A. et al. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. *Revista Ciência Agrônômica*, v. 41, n. 01, p. 1-8, 2010.

VENDRUSCULO, Laurimar Gonçalves et al . Computational system for geostatistical analysis. **Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)**, Piracicaba, v. 61, n. 1, p. 100-107, Feb. 2004. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90162004000100017&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162004000100017&lng=en&nrm=iso)>. access on 08 Aug. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162004000100017>.

Vieira S, Hatfield J, Nielsen D, Biggar J. 1983. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia* 51(3):1-75. DOI:10.3733/hilg.v51n03p075

VIEIRA, SIDNEY ROSA. VARIABILIDADE ESPACIAL DE ARGILA, SILTE E ATRIBUTOS QUÍMICOS EM UMA PARCELA EXPERIMENTAL DE UM LATOSSOLO ROXO DE CAMPINAS (SP). **Bragantia**, Campinas , v. 56, n. 1, p. 181-190, 1997 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0006-87051997000100019&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87051997000100019&lng=en&nrm=iso)>. access on 09 Aug. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051997000100019>.

Wang, Y. Q. and Shao, M. A. (2013), SPATIAL VARIABILITY OF SOIL PHYSICAL PROPERTIES IN A REGION OF THE LOESS PLATEAU OF PR CHINA SUBJECT TO WIND AND WATER EROSION. *Land Degrad. Dev.*, 24: 296–304. doi: 10.1002/ldr.1128

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. Geoestatística: conceitos e aplicações. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

YOUNG, A. Agroforestry for soil management. 2<sup>nd</sup> ed. Nairobi: CAB Internacional, 1997. 320p.

**Tabela 6-** Estatística descritiva dos atributos físicos do solo de um sistema iLPF: Densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), macroporosidade do solo (MacP), microporosidade do solo (MicP) e densidade da partícula (Dp).

Parâmetro estatístico	Ds (kg.dm <sup>-3</sup> )			PT (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )			MacP (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )			MicP (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )			Dp (g.cm <sup>-3</sup> )		
	Profundidade (cm)														
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
<b>n</b>	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
<b>Mínimo</b>	1,240	1,310	1,410	0,320	0,330	0,340	0,003	0,020	0,030	0,120	0,130	0,150	2,200	2,300	2,270
<b>Máximo</b>	1,620	1,630	1,600	0,470	0,420	0,420	0,292	0,280	0,240	0,360	0,320	0,320	2,440	2,470	2,470
<b>1º Quartil</b>	1,400	1,498	1,498	0,360	0,350	0,358	0,040	0,058	0,070	0,283	0,245	0,220	2,330	2,350	2,350
<b>3º Quartil</b>	1,540	1,573	1,550	0,403	0,370	0,380	0,125	0,120	0,150	0,320	0,300	0,290	2,380	2,380	2,418
<b>Media</b>	1,457	1,523	1,525	0,382	0,364	0,367	0,098	0,102	0,114	0,284	0,262	0,253	2,343	2,366	2,386
<b>Mediana</b>	1,470	1,530	1,530	0,380	0,360	0,360	0,075	0,090	0,105	0,300	0,270	0,255	2,350	2,350	2,380
<b>Variância</b>	0,009	0,005	0,002	0,001	0,001	0,000	0,006	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,004	0,002	0,002
<b>DP</b>	0,096	0,071	0,045	0,033	0,023	0,017	0,077	0,067	0,051	0,059	0,050	0,042	0,060	0,044	0,046
<b>CV%</b>	6,586	4,662	2,922	8,552	6,339	4,687	78,946	65,377	44,896	20,653	18,987	16,580	2,570	1,853	1,936
<b>Assimetria</b>	-0,383	-0,986	-0,446	0,410	0,737	0,772	0,959	1,061	0,579	-1,149	-1,004	-0,568	-0,600	0,817	-0,382
<b>Curtose</b>	-0,709	0,906	-0,143	-0,139	-0,104	0,622	-0,349	0,260	-0,476	0,220	-0,023	-0,522	-0,197	0,275	-0,463
<b>Kolmogorov</b>	0,943	0,361	0,336	0,612	0,113	0,088	0,048	0,128	0,594	0,002	0,023	0,201	0,053	0,034	0,160

n: número de amostras; DP: desvio padrão; CV%: coeficiente de variação; Kolmogorov: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov

**Tabela 7** - Parâmetros dos modelos teóricos de semivariância ajustados para os atributos físicos: densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), macroporosidade do solo (MacP), microporosidade do solo (Micp) e densidade da partícula (Dp).

Atributo	Profundidade	Modelo	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub>	Alcance	IDE	Classificação
<b>Ds</b>	0,00-0,05	Esférico	0,0018	0,0099	40	18,18	Forte
	0,05-0,10	Esférico	0,0011	0,0050	20	22,00	Forte
	0,10-0,20	Esférico	0,0003	0,0019	30	15,78	Forte
<b>PT</b>	0,00-0,05	Esférico	0,0002	0,0011	25	18,18	Forte
	0,05-0,10	Esférico	0,0001	0,0005	50	20,00	Forte
	0,10-0,20	Esférico	4,91 x 10 <sup>-5</sup>	0,0003	25	16,36	Forte
<b>MacP</b>	0,00-0,05	Esférico	0.1589	0,9761	25	16,27	Forte
	0,05-0,10	Esférico	0,0011	0,0044	25	25,00	Moderada
	0,10-0,20	Esférico	0,0004	0,0026	40	15,38	Forte
<b>MicP</b>	0,00-0,05	Esférico	0,0008	0,0034	30	23,52	Forte
	0,05-0,10	Esférico	0,0006	0,0025	30	24,00	Forte
	0,10-0,20	Esférico	0,0003	0,0018	40	16,66	Forte
<b>Dp</b>	0,00-0,05	Esférico	0,0004	0,0036	40	11,11	Forte
	0,05-0,10	Esférico	4,91 x 10 <sup>-5</sup>	0,0003	30	16,36	Forte
	0,10-0,20	Esférico	0,0005	0,0021	40	23,80	Forte

C<sub>0</sub>: Efeito pepita ; C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>: Patamar; IDE: Índice de dependência espacial = (C<sub>0</sub>/ C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>).100; Forte >25%; Moderada 25 a 75%; Fraca > 75% (Cambardella et al., 1994)

## CONCLUSÕES GERAIS

O uso de análise multivariada, em especial a análise de fatores, análise de aglomerados e análise discriminantes mostraram eficientes para o estudo proposto, uma vez que a análise de variância poderia não mostrar eficiência devido as inter-relações entre as variáveis causando viés nos resultados.

Baseado nessas análises, do universo estudado neste trabalho, aproximadamente 97% da área amostrada apresentou fertilidade do solo de satisfatória a alta, o que induz ao uso de quantidades reduzidas de fertilizantes na maior parte da área de cultivo.

Embora esse tipo de amostragem espacial pudesse ser analisado pela geoestatística, o que daria maior robustez nos resultados, a ausência de coordenadas geográficas do banco de dados impede que esta análise seja feita com eficiência.

Nesse estudo combinou-se a estatística descritiva clássica e a geoestatística para facilitar a compreensão da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo. O modelo semivariográfico mais adequado foi o exponencial para todas as variáveis. Todos os atributos apresentaram forte dependência espacial na área amostrada, com exceção da macroporosidade na camada 0,05-0,10 m onde essa dependência foi moderada.

Os fatores extrínsecos do solo influenciaram na composição da variabilidade espacial da macroporosidade e da microporosidade.

A técnica de krigagem ordinária demonstrou ser eficiente na estimativa de pontos não amostrados nessa área de estudo, e que 20 m entre os pontos observados são adequados para a confiabilidade da dependência espacial.

Os resultados induzem a um maior aprofundamento para entender melhor a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo quando correlacionados com outros atributos do solo, como os químicos e biológicos.

**ANEXO**  
**NORMAS DA REVISTA CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

## DIRETRIZES PARA AUTORES

### Política Editorial

A *Rev. Ciênc. Agrár.* destina-se à divulgação de trabalhos gerados a partir de pesquisas originais, desenvolvidas tanto na região amazônica quanto em outras regiões brasileiras e/ ou em outros países. É publicada trimestralmente pela Universidade Federal Rural da Amazônia e é dirigida a pesquisadores, docentes, discentes e profissionais da área de ciências agrárias e de áreas afins.

As submissões podem ser de diferentes tipos: artigos originais, notas científicas e artigos de revisão (a convite); em inglês ou português e relativas às áreas de Agronomia, Engenharia Florestal, Medicina Veterinária, Recursos Florestais, Recursos Pesqueiros e Zootecnia, Ciências Ambientais aplicadas à Agricultura e áreas afins relacionadas com a produção animal e vegetal.

Antes de submeter um trabalho, recomenda-se a observação da declaração do COPE sobre ética e boas práticas para organização e escrita do trabalho. Para tanto, favor consultar o site <http://publicationethics.org/>. Esta revista observa e não aceita a publicação de: dados fabricados, dados falsificados ou falsos, publicação redundante ou duplicada, plágio, conflitos de autoria ou interesse, autores „fantasmas“, autores encobertos ou autores e/ ou coautores que não contribuíram com o trabalho. Vale destacar que não serão aceitos trabalhos que se refiram apenas a testes sobre a atividade de produtos químicos ou biológicos ou estresses fisiológicos bem como trabalhos gerados a partir de resultados de cultura *in vitro*, limitados ao melhoramento dos protocolos ou que não forneçam novas informações ao campo.

Os autores devem garantir que os trabalhos submetidos à *Rev. Ciênc. Agrár.* não tenham sido publicados anteriormente e não estejam sendo apresentados para publicação em outra revista. Após aprovado, deve-se garantir que o trabalho publicado na revista não seja publicado em outro lugar.

Ao submeter um manuscrito, o(s) autor(es) aceita(m) que o copyright de seu artigo seja transferido para a revista, se e quando o artigo for aceito para publicação. Em caso de aceite, a revista envia ao autor a “Declaração de transferência de direitos autorais”, que deve ser assinada pelo autor e devolvida. Artigos e ilustrações aceitos tornam-se propriedade da *Rev. Ciênc. Agrár.* . Nenhum material submetido à revista será devolvido aos autores. Todo o conteúdo do periódico estará licenciado sob uma Licença Creative Commons. O conteúdo dos trabalhos submetidos à publicação na *Rev. Ciênc. Agrár.* é de responsabilidade exclusiva de seu(s) autor(es).

## **Autoria**

A autoria deve ser limitada àqueles que participaram e contribuíram substancialmente para o trabalho. Todas as informações sobre os autores e suas afiliações devem ser inseridas **somente:**

- na **Carta de Concordância e Originalidade**, que deve ser apresentada da seguinte forma: o **autor correspondente** deve pedir ao(s) coautor(es) que lhe envie(m) um e-mail de concordância com os dizeres: "Eu, ..., concordo com o conteúdo do trabalho intitulado „.....“, estou de acordo com a submissão do mesmo à *Rev. Ciênc. Agrár.* e confirmo que o mesmo foi gerado a partir de pesquisa original." (Obs: encaminhá-lo para o endereço de e-mail pessoal, gerando, assim, os dados da mensagem original: assunto, data, de e para; marcar todo o corpo do e-mail, copiar e depois colar em um arquivo do "Word". Desta maneira, tem-se todas as cartas de concordância dos coautores num mesmo arquivo). O **autor correspondente** deve inserir este documento no sistema como documento suplementar. **O número máximo de autores permitido é 6 (seis)**. Não serão permitidas mudanças nos nomes de autores *a posteriori*. Colocar no sistema como documento suplementar.
- na **Declaração de aprovação pelo Comitê de Ética**: em caso de pesquisas que envolvam animais e/ ou seres humanos, é obrigatória a inclusão de declaração de que todos os procedimentos foram aprovados pelo comitê de ética em pesquisa da instituição a que se vinculam os autores ou, na falta deste, por um outro comitê de ética em pesquisa indicado pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa do Ministério da Saúde (Ministério da Saúde, Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 196 de 10/10/96 sobre pesquisa envolvendo seres humanos. DOU 1996 Out 16; nº 201, seção 1:21082-21085). No caso de autores de outros países, os artigos deverão estar em conformidade com a Declaração de Helsinki e com as normas éticas locais.
- na **Declaração de aprovação da pesquisa pelo CEUA (Comitê de Ética com Uso de Animais)**: se o trabalho envolver a utilização de animais vivos, faz-se necessário enviar à *Rev. Ciênc. Agrár.* a declaração de aprovação da pesquisa pelo CEUA. O não envio deste documento invalidará a tramitação do trabalho nesta revista. Em estudos experimentais envolvendo animais, os preceitos do Colégio Brasileiro de Experimentação Animal (COBEA) devem ser respeitados. Colocar no sistema como documento suplementar;
- na **Página de Metadados** (colocar no sistema como documento suplementar), onde devem constar:

- **Título do trabalho no idioma principal** (em inglês ou em português);
- **Título do trabalho no segundo idioma** (em inglês ou em português);
- **Nome dos autores** (com índice numérico para referenciar a afiliação e asterisco para sinalizar o autor correspondente): os nomes dos autores devem estar tal como utilizado em trabalhos acadêmicos;
- **Afiliação de todos os autores** (citar apenas uma afiliação para cada autor, sendo este o local onde o trabalho foi desenvolvido; inserir respectivos índices numéricos, relacionando autor e afiliação). Modelo: [Universidade (nome por extenso)/ Cidade/ Estado/ País (todos os itens são obrigatórios)];
- **Autor correspondente** Modelo: [\* e-mail do autor correspondente (item obrigatório)];
- **Contribuição dos autores** (descrição da contribuição de cada autor para o trabalho). Modelo: [Antonio Dias realizou os experimentos e a escrita científica; Maria Cândido contribuiu com a revisão bibliográfica e a escrita científica; Fernanda Cândido contribuiu com a escrita científica e com a revisão ortográfica e gramatical do trabalho];
- **Agradecimentos** (incluir instituições que, de alguma forma, possibilitaram a realização da pesquisa e/ ou pessoas que colaboraram com o estudo, mas que não preencheram os critérios necessários à caracterização de coautores);
- **Fontes de financiamento** (devem ser indicadas, caso o trabalho tenha recebido ou não auxílio financeiro. Informar o tipo de auxílio, o nome do agente financeiro e o número do processo. Caso o trabalho não tenha recebido financiamento, por favor, declare “Não houve fonte de financiamento”.);
- **Conflito de Interesse** (caso haja, os autores devem informar, incluindo interesses políticos e/ ou financeiros associados a patentes ou propriedade, provisão de materiais e/ ou insumos e equipamentos utilizados no estudo pelos fabricantes. Se não houver, declarar por escrito: “os autores declaram não haver conflito de interesse”). No sistema de submissão on-line da revista, em que os nomes dos autores e coautores e respectivas afiliações devem aparecer da mesma forma, sempre que solicitados;
- na **Declaração de transferência de direitos autorais** (em caso de aprovação do trabalho). Colocar no sistema como documento suplementar.

Autores e afiliações não devem ser incluídos no arquivo do trabalho (corpo do texto) para garantir a avaliação duplo-cega. Também devem ser retiradas todas as propriedades dos arquivos enviados.

## **Formato e preparação do trabalho**

Todos os arquivos devem estar completos e revisados, segundo as “Diretrizes para autores” desta revista. Devem ser preparados utilizando o editor de texto Microsoft Word® 2007 ou posterior, conforme as seguintes especificações:

- folha tamanho A4 (210 x 297 mm);
- margem de 3 cm;
- espaçamento 1,5;
- formatação em coluna única;
- fonte Times New Roman, tamanho 12;
- numeração sequencial de páginas na parte superior direita em algarismos arábicos.

Figuras devem estar inseridas no corpo do documento, em posição que proporcione o melhor fluxo de leitura. Tabelas devem ser inseridas ao final, após as referências.

Os arquivos a serem apresentados pelo(s) autor(es) no momento da submissão são os seguintes:

- **Carta de Concordância e Originalidade** (de acordo com o exposto acima);
- **Declaração de aprovação pelo Comitê de Ética** (de acordo com o exposto acima e obrigatório em caso de pesquisas que envolvam animais e/ ou seres humanos);
- **Declaração de aprovação da pesquisa pelo CEUA - Comitê de Ética com Uso de Animais** – (de acordo com o exposto acima);
- **Página de Metadados** (de acordo com o exposto acima);
- **Trabalho** (de acordo com o que segue abaixo e organizado de acordo com estas instruções. Nomes de autores devem aparecer apenas nos documentos acima mencionados; não devem ser inseridos no trabalho.).

## **Tipos de trabalhos**

A *Rev. Ciênc. Agrár.* aceita submissões de Artigos Originais, Artigos de Revisão e Comunicações (Notas Científicas e Técnicas). Todos os trabalhos, independente do tipo, devem estar de acordo com as “Diretrizes aos Autores” e escritos na forma impessoal.

**Artigos Originais:** devem conter até 20 páginas, incluindo figuras e tabelas; devem apresentar as seguintes seções: Título em português, Resumo, Palavras-chave, Título em inglês, Abstract, Keywords, Introdução, Material e Métodos, Resultados e Discussão (ou a combinação destes), Conclusões e Referências; os títulos de cada seção devem ser numerados

sequencialmente (à exceção do tópico Referências), grafados em negrito e com letras iniciais maiúscula, e justificados à esquerda. Não são aceitos subtítulos.

**Artigos de Revisão:** devem conter até 20 páginas, incluindo figuras e tabelas; devem apresentar: Título em português, Resumo, Palavras-chave, Título em inglês, Abstract, Keywords, Introdução, Desenvolvimento, Considerações finais e Referências; os títulos de cada seção devem ser numerados sequencialmente (à exceção do tópico Referências), grafados em negrito e com letras iniciais letra maiúscula, e justificados à esquerda.

**Comunicações (Notas Científicas/Técnicas):** não devem exceder 10 páginas, incluindo figuras e tabelas; as normas para elaboração são as mesmas das do Artigo Original, exceto nos seguintes pontos: o Resumo deve conter 150 palavras; o trabalho deve conter, no máximo, 10 páginas; e o número de referências deve limitar-se a 15; quando a Nota for redigida em português, deve conter também Abstract e Keywords e, quando redigida em inglês, deve conter também Resumo e Palavras-chave.

### **Estrutura e organização dos trabalhos**

Cada trabalho deve apresentar os itens a seguir, de acordo com seu tipo. O trabalho não deve ser identificado e, portanto, não deve conter nome(s) de autor(es) ou quaisquer outros itens que o(s) identifique(m). Os dados de autoria devem ser reservados para a Página de Metadados e outros documentos acima mencionados.

- **Título no idioma principal do trabalho:** deve ser conciso e indicar o conteúdo do trabalho; deve estar centralizado, em negrito e somente com a primeira letra da sentença em maiúscula; não deve ser iniciado com palavras como “efeito”, “influência” ou “avaliação”; não deve possuir subtítulo, sigla ou fórmula; não deve conter nome científico, exceto de espécies pouco conhecidas (neste caso, apresentar somente o nome binário); não deve ultrapassar o limite de 15 palavras; deve conter palavras que facilitem a recuperação do trabalho por índices desenvolvidos por bases de dados que catalogam a literatura.
- **Título no segundo idioma do trabalho:** estando o trabalho em português, o segundo título deve ser apresentado em inglês e vice-versa; deve ser inserido logo após o primeiro título e ser construído com as mesmas indicações atribuídas ao Título no idioma original do trabalho.
- **Resumo e Abstract:** devem conter no máximo 250 palavras cada um, ser elaborado com frases sucintas e em um só parágrafo; não devem repetir o título; cada frase deve ser uma informação; não devem apresentar citações; devem ser iniciados por uma breve frase

introdutória, que justifique o trabalho, seguida pelos objetivos, objeto estudado, resultados mais importantes e conclusões; toda e qualquer sigla deve vir precedida da forma por extenso. Todo trabalho deve conter Resumo (em português) e Abstract (em inglês).

- **Palavras-chave e Keywords:** devem respeitar o limite mínimo de três e máximo de cinco, tanto em português quanto em inglês; devem estar grafadas em minúsculas, separadas por vírgulas, sem ponto final, com informações que permitam a compreensão e a indexação do trabalho; não são aceitas palavras que já constem no Título. Todo trabalho deve conter Palavras-chave (em português) e Keywords (em inglês).
- **Introdução:** explanação de forma clara e objetiva do problema investigado ou das hipóteses do trabalho; não deve ultrapassar duas páginas; deve abordar a pertinência e relevância do trabalho, além de conter apenas citação de referências específicas, visando estabelecer relação com trabalhos publicados sobre o assunto; no final da Introdução, como último parágrafo, deve-se apresentar a hipótese científica e os objetivos do estudo.
- **Material e Métodos:** devem apresentar a seguinte sequência lógica: descrição do local, período de realização da pesquisa, delineamento experimental e tratamentos, materiais e técnicas utilizadas, análise estatística utilizada bem como as transformações dos dados; tratamentos e variáveis devem ser bem detalhados, porém deve-se evitar o uso de abreviações ou siglas; técnicas e procedimentos de rotina devem ser apenas referenciados; as informações devem ser suficientes para que outros pesquisadores possam repetir o experimento.
- **Desenvolvimento** (exclusivo para Artigos de Revisão): deve ser escrito de forma crítica, apresentando a evolução do conhecimento, as lacunas existentes e o estado atual da arte, com base no referencial teórico disponível na literatura coligida.
- **Resultados e Discussão:** devem interpretar os resultados do trabalho de forma consistente, evitando comparações desnecessárias, isto é, as novas descobertas devem ser confrontadas com o conhecimento já obtido; comparações, quando pertinentes, devem ser discutidas e redigidas de forma a facilitar a compreensão do leitor; dados não apresentados não podem ser discutidos; tabelas e figuras não devem ser repetidas, no entanto, todos os seus dados devem ser discutidos; deve-se evitar o uso de nomes de variáveis e tratamentos abreviados. Resultados podem ser apresentados como uma subseção do texto ou juntamente com a discussão.

- **Conclusões:** devem ser apresentadas em frases sucintas, sem comentários adicionais, com o verbo no presente do indicativo; não devem ser uma repetição dos resultados e devem responder aos objetivos expressos no trabalho; não podem consistir em um resumo dos resultados; devem apresentar as novas descobertas da pesquisa.
- **Citações no corpo do texto:** se o(s) autor(es) for(em) citado(s) entre parênteses, deve(m) estar(em) apenas com a letra inicial maiúscula, separadas por ponto e vírgula e em ordem cronológica.
- Exemplos: (Reis & Fernandes, 2009); mais de dois autores (Reis et al., 2009).

Quando o nome do autor estiver incluído na sentença (frase/oração), deve estar grafado com as iniciais maiúsculas e com a indicação da data.

- Exemplo: Reis & Fernandes (2009).

Para mais de dois autores, em citações dentro ou fora dos parênteses, deve-se apresentar o primeiro nome seguido da expressão “et al.”; Toda a bibliografia utilizada e citada no texto deverá, obrigatoriamente, estar na lista de referências, assim como, toda a lista de referências deve estar citada no texto.

- **Referências:** devem estar de acordo com as normas da ABNT NBR 6023:2002 (abaixo seguem alguns exemplos); devem respeitar a seguinte formatação: espaço simples, com alinhamento justificado, listadas em ordem alfabética pelo sobrenome; devem contemplar toda e somente a bibliografia citada no texto; títulos incluídos nas referências devem estar grafados em itálico; o trabalho deve possuir, no máximo, 25 referências para artigo científico, 30 para artigo de revisão e 15 para comunicações, sendo a maioria oriunda de periódicos recentes (últimos cinco anos). Citar todos os autores. Não use et al.

Exemplos:

- **Livro:**

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. Análises químicas em plantas. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56 p.

- **Capítulo de livro:**

WILLIAMS, E. S. Canine distemper. In: WILLIAMS, E. S.; BARKER, I. K. (Eds.). Infectious diseases of wild mammals. 3. ed. Ames: Iowa State University Press, 2001. p. 50-58.

- **Periódicos:**

KOUTINAS, A. F.; POLIZOPOULOU, Z. S.; BAUMGAERTNER, W.; LEKKAS, S.; KONTOS, V. Relation of clinical signs to pathological changes in 19 cases of canine distemper encephalomyelitis. *Journal of Comparative Pathology*, v. 126, n. 1, p. 47-56, 2002.

- **Teses e Dissertações (deve ser evitada a citação):**

GUEDES, E. M. S. Atributos químicos e físicos de um Latossolo Amarelo argiloso e produção de soja em sistemas de manejo, no município de Paragominas/PA. 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2009.

- **Boletins, trabalhos de congresso e outros eventos:** Não fazer citações.

- **Publicações eletrônicas:**

SILVA, M. S.; SILVA, L. R. D.; SILVA, S. M.; SOBRINHO, R. S. D. Qualidade de jaca dura (*Artocarpus heterophyllus*) minimamente processada armazenada em diferentes temperaturas. SENGE-PB, 2009. Disponível em: <<http://www.sengepb.com.br/site/wp-content/uploads/2009/12/t023.pdf>>. Acesso: 5 maio 2010.

➤ **Legislação:**

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998. Aprova o Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar (declarações relacionadas ao conteúdo de nutrientes), constantes do anexo desta Portaria. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 16 jan. 1998.

➤ **Tabelas:** devem estar numeradas com algarismos arábicos, apresentadas ao final do texto (após as referências) e cada uma em uma página separada; devem conter sempre um título autoexplicativo, claro e conciso; título no segundo idioma do trabalho: estando o trabalho em português, o segundo título deve ser apresentado em inglês e vice-versa; não devem ser utilizadas linhas verticais; não devem possuir letras sobrescritas em seus valores; linhas horizontais devem aparecer para separar o título do cabeçalho e este do conteúdo, além de uma ao final, na base da tabela; devem ser editadas em Microsoft Word® 2007 ou posterior; não devem ser importadas do Excel® ou Powerpoint®; elementos enviados no formato de imagem não serão aceitos e acarretarão atrasos na avaliação e na publicação do trabalho; cada valor presente na tabela deve ser digitado em células distintas, centralizado e alinhado; as tabelas devem ser dimensionadas da seguinte forma: largura de uma coluna (8 cm) ou de uma página (17 cm).

➤ **Figuras:** são considerados figuras todos os gráficos, desenhos, mapas, diagramas e fotografias usados para ilustrar o texto; devem estar inseridas no corpo do texto, de modo que proporcionem melhor fluxo de leitura e compreensão do texto como um todo; caso haja texto dentro da figura, este deve acompanhar o idioma do trabalho e estar legível; toda figura deve ser citada no texto, apresentar legenda e fonte de origem; toda legenda deve indicar à que figura se refere; figuras não-originais (de outro autor ou trabalho)

devem conter, após o título, a fonte de origem; devem ser dimensionadas da seguinte forma: largura de uma coluna (8 cm) ou de uma página 17 cm.; para fotos e mapas, coloridos ou não, deve-se utilizar resolução de 150 a 300 dpi; não serão aceitas figuras que repitam as informações das tabelas; fotos coloridas, quando imprescindíveis a critério da Equipe Editorial, serão, também, aceitas; não devem ser utilizadas linhas de borda na área de plotagem e nem na área do gráfico (figura); nos gráficos, as designações das variáveis dos eixos X e Y devem ter iniciais maiúsculas, seguidas das unidades entre parênteses; título no segundo idioma do trabalho: estando o trabalho em português, o segundo título deve ser apresentado em inglês e vice-versa.

- **Uso de unidades:** nos exemplos seguintes, o formato correto é o que se encontra no lado direito da igualdade: 10 horas = 10 h; 32 minutos = 32 min; 5 l (litros) = 5 L; 45 ml = 45 mL;  $1/s = L s^{-1}$ ;  $27^{\circ}C = 27^{\circ} C$ ;  $0,14 m^3/min/m = 0,14 m^3 min^{-1} m^{-1}$ ; 100 g de peso/ave = 100 g de peso por ave; g por planta = g/planta; 2 toneladas = 2 t; mm/dia = mm d<sup>-1</sup>; 2x3 = 2 x 3 (com espaçamento); 45,2 - 61,5 = 45,2-61,5 (sem espaçamento). A unidade de % deve estar junto ao número (Ex.: 45%); quando, no texto, existirem valores numéricos seguidos, deve-se colocar a unidade somente no último valor (Ex.: 20 e 40 m; 56,0, 82,5 e 90,2%); quando for pertinente, deve-se **deixar os valores numéricos com, no máximo, duas casas decimais**; as grandezas devem ser expressas no SI (Sistema Internacional) e a terminologia científica deve seguir as convenções internacionais de cada área em questão.
- **Siglas e abreviações:** se a sigla for lida como uma palavra e contiver mais de três letras, apenas a letra inicial deve ser grafada em maiúscula; nos demais casos (siglas até três letras e as que são lidas letra a letra, sem formar palavra) todas as letras devem ser grafadas em maiúsculas; o nome por extenso de uma instituição deve ter apenas a primeira letra de cada nome em maiúscula; a abreviação do título da *Revista de Ciências Agrárias* é Rev. Ciênc. Agrár. e deve ser utilizada em bibliografias, notas de rodapé, referências e legendas bibliográficas.
- **Termos em latim:** devem-se apresentar os termos em latim em itálico, exceto para o termo "et al."
- **Termos estrangeiros:** devem ser mantidos em destaque somente termos específicos, ressaltados no manuscrito; palavras incorporadas à língua portuguesa não devem ser destacadas (Ex.: marketing, e-mail, software etc.).
- **Checklist** para autores: antes de submeter seu trabalho, acesse este link ([https://docs.google.com/a/editoracubo.com.br/document/d/1EkKmu6JcIm71E-n8tnK-0gHPAzMQ1mDonrDb3V5\\_R5k/edit?pli=1#](https://docs.google.com/a/editoracubo.com.br/document/d/1EkKmu6JcIm71E-n8tnK-0gHPAzMQ1mDonrDb3V5_R5k/edit?pli=1#)) e confira se as informações e se seu

manuscrito estão completos. A *Rev. Ciênc. Agrár.* observará se seu trabalho está completo, no início das avaliações.

- Após conferir a formatação e ter preparado os arquivos de acordo com as recomendações acima, siga para a etapa de Submissão On-line (Veja abaixo).

### **Submissão do trabalho**

Quando o trabalho estiver de acordo com a “Política Editorial” e as “Diretrizes aos autores” desta revista, a submissão do mesmo deve ser feita através deste site. A *Rev. Ciênc. Agrár.* utiliza o Sistema Eletrônico de Editoração de Revistas (SEER), sistema customizado pelo Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), a partir do Open Journal Access (OJS), desenvolvido pelo Public Knowledge Project. Neste sistema, o autor deve primeiro se cadastrar, para que obtenha login e senha de acesso. Ao acessar o sistema, basta atentar-se aos dados a serem preenchidos e anexar os documentos necessários. Ao finalizar a submissão, uma mensagem automática de confirmação é enviada ao autor, via e-mail.

### **Informações adicionais e importantes**

Experimentos de campo devem incluir dados de, pelo menos, dois anos ou de várias localidades, dentro do mesmo ano.

- Experimentos em ambientes controlados devem apresentar dados de, pelo menos, uma repetição do experimento.
- Não serão aceitos trabalhos que se refiram apenas a testes sobre a atividade de produtos químicos ou biológicos ou estresses fisiológicos bem como trabalhos gerados a partir de resultados de cultura *in vitro*, limitados ao melhoramento dos protocolos ou que não forneçam novas informações no campo.
- Não serão aceitos trabalhos que se limitem a registrar a ocorrência de espécies de pragas em localidades dentro de regiões geográficas onde eles já sejam conhecidos.
- Trabalhos submetidos fora das normas da revista serão reavaliados uma única vez.

### **Contato**

Em caso de dúvidas, após a leitura destas “Diretrizes para autores”, recomenda-se a consulta ao mais recente número publicado pela revista. Os autores podem, ainda, comunicar-se com a *Rev. Ciênc. Agrár.* pelo e-mail:amazonian.journal@ufrs.edu.br