

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS**

DAVID MARLON DALPOSSO

**ATRIBUTOS DO SOLO E DENDROMETRIA EM AGROFLORESTA NO
SUDOESTE DO PARANÁ**

DISSERTAÇÃO

DOIS VIZINHOS

2017

DAVID MARLON DALPOSSO

**ATRIBUTOS DO SOLO E DENDROMETRIA EM AGROFLORESTA NO
SUDOESTE DO PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas - Área de Concentração: Manejo em Agroecossistemas.

Orientador: Prof. Dr. Moeses Andriago Danner.
Co-Orientador: Prof. Dr. Edgar de Souza Vismara
Co-Orientador: Prof. Dr. Jairo Calderari de Oliveira Junior.

DOIS VIZINHOS

2017

D149a Dalposso, David Marlon.

Atributos do solo e dendrometria em agrofloresta no sudoeste do Paraná / David Marlon Dalposso – Dois Vizinhos, 2017.
131f.:il

Orientador: Moeses Andrigo Danner

Coorientador: Edgar de Souza Vismara

Coorientador: Jairo Calderari de Oliveira Junior.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós- Graduação em Agroecossistemas, Dois Vizinhos, 2017.

Inclui bibliografias

1. Agrossilvicultura - Paraná 2. Solo - Uso 3. Florestas
Medição I. Danner, Moeses Andrigo, orient. II. Vismara, Edgar
de Souza, coorient. III. Oliveira Junior, Jairo Calderari,
coorient. IV. Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
Dois Vizinhos V. Título

CDD: 631.47

Ficha catalográfica elaborada por Rosana da Silva CRB: 9/1745

Biblioteca da UTFPR-Dois Vizinhos



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Dois Vizinhos
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação nº 001

Atributos do solo e dendrometria em agrofloresta no Sudoeste do Paraná

David Marlon Dalposso

Dissertação apresentada às treze horas e trinta minutos do dia vinte e sete de março de dois mil e dezessete, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGROECOSSISTEMAS, Linha de Pesquisa – Manejo e Conservação de Agroecossistemas, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas (Área de Concentração: Agroecossistemas), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho

Banca examinadora:

Moeses Andriago Danner
UTFPR-PB

José Ricardo da Rocha Campos
UTFPR-PB

Fernando Perobelli Ferreira
UFFS - Chapecó

Prof. Dr. Eleandro José Brun
Coordenador do PPGSIS

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, minha força e amparo incessante. Por todas as suas misericórdias e seu amor por mim, pela sua destra poderosa sobre minha vida, pela atenção dada a mim nos momentos de aflição que a doença me causou. Dedico ainda este trabalho à minha amada família, sem citar ou especificar pessoas, estas foram meu acalento e apoio, pessoas que acreditaram no meu esforço e dedicação. Ainda, aos amigos Lucas Link, Ludian Vitorelo, Evandro Ioris e Maurício de Souza, pelo apoio e colaboração.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida, sem sua misericórdia este trabalho nem iniciado seria, pois ele me deu uma nova chance de sentir o cheiro de cada manhã na companhia daqueles que amo.

À minha família, pelo seu amor e atenção para comigo, sem seus ensinamentos eu não teria a capacidade para chegar aonde cheguei. Não somente a minha família biológica, mas, as famílias que Deus me permitiu escolher, família Toffoli, família Vitorelo, família Link, família Ioris, família Souza, meus especiais agradecimentos pelas incontáveis estadias e refeições em vossas mesas, vocês foram minhas “outras famílias” nessa caminhada do mestrado, meus sinceros agradecimentos.

Ao meu orientador em especial, pela sabedoria e inteligência que compartilhou comigo. Ainda, pela sua paciência em me ensinar e explicar, obrigado.

Ao Edgar de Souza Vismara e ao Jairo Calderari de Oliveira Júnior, vocês foram muito importantes para conclusão deste trabalho, obrigado.

Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada.

Apenas dê o primeiro passo.

(Martin Luther King)

RESUMO

DALPOSSO, David Marlon. Atributos do solo e dendrometria em agrofloresta no Sudoeste do Paraná. 131 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas (Área de Concentração: Manejo e Conservação em Agroecossistemas), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2017.

O estudo da variabilidade dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo é de suma importância para executar o manejo correto do solo, bem como o emprego de ferramentas tecnológicas de modo a facilitar e intensificar o conhecimento das relações e correlações solo-planta. Após a introdução geral o estudo abordou as variáveis de solo de interesse agrícola e silvicultural na forma de artigo científico de número um, de modo a proporcionar o conhecimento de diferentes sistemas de uso e manejo do solo comparados à agrofloresta, evidenciando que existe uma relação de causa e efeito entre esses ambientes em estudo, revelando sua variabilidade. No segundo artigo foi abordada a questão da geoestatística, ferramenta a qual possibilita fazer o estudo mais detalhado e localizado dos diferentes aspectos químicos, físicos e biológicos do solo, gerando mapas temáticos do comportamento de cada variável em questão. Por fim, o último capítulo abordou a correlação dos atributos do solo com variáveis dendrométricas da agrofloresta, de modo a entender qual a relação entre estes, se positiva ou negativa, alta ou baixa, inferindo assim sobre o sucesso da cultura para dada condição de solo, manejo, sistema de uso. Para o primeiro artigo, os sistemas apresentaram variabilidade entre si para os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, onde predominam maiores teores de matéria orgânica na mata nativa, seguida de menor densidade e maior umidade do solo. A integração-Lavoura-Pecuária apresentou a maior resistência à penetração do solo e o menor teor de matéria orgânica, ainda a maior densidade do solo. A maior macroporosidade e porosidade total foram constatadas na mata nativa para a profundidade de 10-20 cm. O maior número de insetos foi constatado na Integração Lavoura-Pecuária, porém menor diversidade e riqueza e maior dominância. No segundo artigo foi constatada variabilidade espacial para os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, apresentando diferentes alcances e dependências espaciais através dos semivariogramas da krigagem. Por fim, o terceiro artigo apresentou correlação somente entre a variável química saturação de bases do solo e área basal na camada de 0-5 cm do solo, sendo esta alta e inversa, bem como para resistência à penetração do solo na profundidade de 20-50 cm. Destaca-se que há variabilidade dos atributos do solo em distintos manejos e sistemas de uso, bem como

variabilidade espacial para os atributos do solo. Ainda, que há correlação de alguns atributos químicos e físicos do solo com variáveis dendrométricas de produção em agrofloresta.

Palavras-chave: Silvicultura de Precisão, Nutrição, Sistema de uso e manejo do solo.

ABSTRACT

DALPOSSO, David Marlon. Soil attributes and dendrometry in agroforestry in the Southwest of Paraná. 131 f. Dissertation (Masters in Agroecosystems) – Post-graduate Program in Agroecosystems (Area of Concentration: Management and Conservation in Agroecosystems), Federal Technological University of Paraná. Dois Vizinhos, 2017.

The study of the variability of the chemical, physical and biological attributes of the soil is of paramount importance to execute the correct management of the soil, as well as the use of technological tools in order to facilitate and intensify the knowledge of the relationships and soil-plant correlations. After the general introduction the study addressed the soil variables of agricultural and silvicultural interest in the form of a scientific article of number one, in order to provide the knowledge of different land use and management systems compared to agroforestry, evidencing that there is a relation of Cause and effect among these study environments, revealing their variability. In the second article the geostatistical question was addressed, which makes it possible to make a more detailed and localized study of the different chemical, physical and biological aspects of the soil, generating thematic maps of the behavior of each variable in question. Finally, the last chapter dealt with the correlation of soil attributes with dendrometric variables of the agroforestry, in order to understand the relationship between them, whether positive or negative, high or low, thus inferring the success of the crop for a given soil condition, handling, system of use. For the first article, the systems presented variability among the chemical, physical and biological attributes of the soil, where the highest organic matter contents prevailed in the native forest, followed by lower density and higher soil moisture. The integration-crop-livestock showed the highest resistance to soil penetration and the lowest content of organic matter, even the highest soil density. The highest macroporosity and total porosity were observed in the native forest for a depth of 10-20 cm. The highest number of insects was observed in the Crop-Livestock Integration, but less diversity and richness and greater dominance. In the second article, spatial variability was verified for the chemical, physical and biological attributes of the soil, presenting different ranges and spatial dependencies through the semivariograms of kriging. Finally, the third article presented a correlation only between the chemical saturation of soil bases and basal area in the 0-5 cm layer of the soil, being this high and inverse, as well as for resistance to soil penetration at the depth of 20- 50 cm. It should be noted that there is variability of soil attributes in different management and use systems, as well as spatial

variability for soil attributes. Also, there is correlation of some soil chemical and physical attributes with dendrometric variables of agroforestry production.

Key-words: Precision Forestry, Nutrition, Land use and management system.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Classificação dos solos nas áreas de estudo no interior da UTFPR – DV.....	35
Figura 2 - Densidade aparente do solo (Ds) e umidade do solo dos quadrantes da agrofloresta (Q1, Q2, Q3 e Q4), área de sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Mata secundária (M), na camada de 0-5 cm. As barras representam o erro padrão da média.....	42
Figura 3 - Densidade aparente do solo (Ds) e umidade do solo dos quadrantes da agrofloresta (Q1, Q2, Q3 e Q4), área de sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Mata secundária (M), na camada de 5-10 cm. As barras representam o erro padrão da média.....	42
Figura 4 - Densidade aparente do solo (Ds) e umidade do solo dos quadrantes da agrofloresta (Q1, Q2, Q3 e Q4), área de sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Mata secundária (M), na camada de 10-20 cm. As barras representam o erro padrão da média.....	42
Figura 5 - Resistência (MPa) do solo à penetração (Rp) dos quadrantes da agrofloresta (Q1, Q2, Q3 e Q4), área de sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Mata secundária (M).....	44
Figura 6 - Macro e microporosidade do solo dos quadrantes da agrofloresta (Q1, Q2, Q3 e Q4), área de sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Mata secundária (M), na camada de 0-5 cm. As barras representam o erro padrão da média.....	44
Figura 7 - Macro e microporosidade do solo dos quadrantes da agrofloresta (Q1, Q2, Q3 e Q4), área de sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Mata secundária (M), na camada de 5-10 cm. As barras representam o erro padrão da média.....	45
Figura 8 - Macro e microporosidade do solo dos quadrantes da agrofloresta (Q1, Q2, Q3 e Q4), área de sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Mata secundária (M), na camada de 10-20 cm. As barras representam o erro padrão da média.....	45
Figura 9 - Respiração microbiana do solo dos quadrantes da agrofloresta (Q1, Q2, Q3 e Q4), área de sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Mata secundária (M), aos 15, 30 e 45 dias de incubação. As barras representam o erro padrão da média.....	47
Figura 10 - Distribuição dos dados por gráfico Box-Plot do número de insetos em seis pontos de amostragem de área de sistema de Integração Lavoura-Pecuária (A), de mata secundária (B) e dos quadrantes do AG - Q1, Q2, Q3 e Q4 (C, D, E e F, respectivamente).....	47
Figura 11 - Mapa temático da krigagem do atributo químico Ca nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.....	68

Figura 12 - Mapa temático da krigagem do atributo químico CTC nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.....	71
Figura 13 - Mapa temático da krigagem do atributo químico K nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.....	72
Figura 14 - Mapa temático da krigagem do atributo químico Mg nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.....	73
Figura 15 - Mapa temático da krigagem do atributo químico MO nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.....	74
Figura 16 - Mapa temático da krigagem do atributo químico P nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.....	75
Figura 17 - Mapa temático da krigagem do atributo químico pH nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.....	76
Figura 18 - Mapa temático da krigagem do atributo químico V% nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.....	77
Figura 19 - Mapa temático da krigagem do atributo físico macroporosidade nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.....	84
Figura 20 - Mapa temático da krigagem do atributo físico microporosidade nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.....	85
Figura 21 - Mapa temático da krigagem do atributo físico porosidade total nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.....	86
Figura 22 - Mapa temático da krigagem do atributo físico densidade nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.....	87
Figura 23 - Mapa temático da krigagem do atributo físico umidade nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.....	88
Figura 24 - Mapa temático da krigagem do atributo físico RP nas profundidades de 0-5, 5-10 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B.....	92
Figura 25 - Mapa temático da krigagem do atributo físico RP nas profundidades de 10-15, 15-20 cm. Onde: 10-15 cm letra A; 15-20 cm letra B.....	92
Figura 26 - Mapa temático da krigagem do atributo físico RP nas profundidades de 20-25, 25-30 cm. Onde: 20-25 cm letra A; 25-30 cm letra B.....	93

Figura 27 - Mapa temático da krigagem do atributo físico RP nas profundidades de 30-35, 35-40 cm. Onde: 30-35 cm letra A; 35-40 cm letra B.....	93
Figura 28 - Mapa temático da krigagem do atributo físico RP nas profundidades de 40-45, 45-50 cm. Onde: 40-45 cm letra A; 45-50 cm letra B.....	94
Figura 29 - Mapa temático da krigagem dos índices biológicos Indivíduos, Ordens e Shannon na profundidade de 0-10 cm. Onde: Indivíduos letra A, Ordens letra B e Dominância Letra C.....	98
Figura 30 - Mapa temático da krigagem dos Índices biológicos Simpson, Evenness e CO ₂ na profundidade de 0-10 cm. Onde: Shannon letra A, Simpson letra B e Equabilidade letra C.....	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos químicos do solo nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, dos quadrantes do AG (Q1, Q2, Q3 e Q4), Mata nativa (M) e área de sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP). Os valores representam a média \pm o erro padrão da média de seis pontos de amostragem.....	40
Tabela 2 - Índices de diversidade para o número de insetos classificados em Ordem dos quadrantes da agrofloresta (Q1, Q2, Q3 e Q4), área de sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Mata secundária (M). Os valores representam a média \pm o erro padrão da média de seis armadilhas.....	50
Tabela 3 - Estatística descritiva para os atributos químicos M.O.: matéria orgânica (g dm^{-3}); K (potássio) e P (fósforo) em mg dm^{-3} ; Al (alumínio), Ca (cálcio), Mg (magnésio) e SB (soma de bases) em $\text{cmol}_{(c)} \text{dm}^{-3}$, pH (potencial hidrogeniônico) em CaCl_2 1:2,5, CTC (capacidade de troca catiônica) e V%(porcentagem de saturação por bases) nas três profundidades avaliadas.....	63
Tabela 4 - Parâmetros geoestatísticos dos semivariogramas ajustados para os atributos químicos M.O.: matéria orgânica (g dm^{-3}); K (potássio) e P (fósforo) em mg dm^{-3} ; Al (alumínio), Ca (cálcio), Mg (magnésio) e SB (soma de bases) em $\text{cmol}_{(c)} \text{dm}^{-3}$, pH (potencial hidrogeniônico) em CaCl_2 1:2,5, CTC (capacidade de troca catiônica) e V%(porcentagem de saturação por bases) nas três profundidades avaliadas.....	67
Tabela 5 - Estatística descritiva para os atributos físicos Macrop. (macroporosidade), Microp (microporosidade), Por. Total (porosidade total), Densidade e Umidade do solo nas três profundidades avaliadas.....	80
Tabela 6 - Parâmetros geoestatísticos dos semivariogramas ajustados para os atributos físicos Macrop. (macroporosidade), Microp (microporosidade), Por. Total (porosidade total), Densidade e Umidade do solo nas três profundidades avaliadas.....	81
Tabela 7 - Estatística descritiva para o atributo físico resistência à penetração (RP) do solo nas dez profundidades avaliadas.....	91
Tabela 8 - Parâmetros geoestatísticos dos semivariogramas ajustados para as profundidades avaliadas da resistência à penetração do solo (RP).....	91
Tabela 9 - Estatística descritiva para os índices biológicos do solo: Indivíduos (n°), Ordens (n°), Shannon, Simpson, Evenness e Respiração microbiana acumulada (CO_2).....	97

Tabela 10 - Parâmetros geoestatísticos dos semivariogramas ajustados para os índices Indivíduos (n°), Ordens (n°), Shannon, Simpson, Evenness e Respiração microbiana acumulada (CO ₂).....	97
Tabela 11 - Análise de correlação de Spearman entre os atributos químicos do solo nas três profundidades avaliadas e as variáveis dendrométricas da agrofloresta.....	119
Tabela 12 - Análise de correlação de Spearman entre os atributos físicos do solo nas três profundidades avaliadas e as variáveis dendrométricas da agrofloresta.....	120
Tabela 13 - Análise de correlação de Spearman entre os atributos físicos RP no intervalo de 0-50 cm de profundidade e as variáveis dendrométricas da agrofloresta.....	121
Tabela 14 - Análise de correlação de Spearman entre os atributos biológicos na profundidade de 0-10 cm e as variáveis dendrométricas da agrofloresta.....	124

LISTA DE SÍMBOLOS

M	Mata Nativa
AG	Agrofloresta
ILP	Integração Lavoura-Pecuária
RP	Resistência à penetração do solo
C:N	Relação Carbono: Nitrogênio
CBM	Carbono da biomassa microbiana
Q1: Q2: Q3: Q4	Quadrante 1, 2, 3 e 4

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO GERAL.....	19
1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
2.0 VARIABILIDADE DE CARACTERES QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO.....	30
2.1 RESUMO.....	30
2.2 ABSTRACT.....	31
2.3 INTRODUÇÃO.....	31
2.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
2.6 CONCLUSÕES.....	51
2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
3.0 AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO EM AG ATRAVÉS DA GEOESTATÍSTICA.....	56
3.1 RESUMO.....	56
3.2 ABSTRACT.....	57
3.3 INTRODUÇÃO.....	58
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	60
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	62
3.6 CONCLUSÕES.....	105
3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
4.0 ANÁLISES DA CORRELAÇÃO ENTRE ATRIBUTOS DO SOLO E VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS EM AGROFLORESTA.....	113
4.1 RESUMO.....	113
4.2 ABSTRACT.....	114
4.3 INTRODUÇÃO.....	115
4.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	116
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	117
4.6 CONCLUSÕES.....	125
4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	128
PRINCIPAIS PONTOS DETECTADOS.....	129

CONTRIBUIÇÃO DA PESQUISA.....	130
SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	131

1.0 INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura familiar possui papel importante como fonte de abastecimento de alimentos no mercado nacional e carecem de sistemas de produção apropriados à sua capacidade de investimentos, ao tipo de mão de obra empregada e ao tamanho de suas propriedades (ARMANDO et al., 2002).

O sistema de manejo denominado de Agrofloresta (AG) ou Sistemas Agroflorestais (SAF) se torna uma alternativa interessante para agricultura familiar por reunir vantagens ambientais e econômicas. Uma menor dependência de insumos externos aliada à utilização sustentável dos recursos naturais resulta em maior economia e segurança alimentar, tanto para os consumidores quanto para os agricultores (ARMANDO et al., 2002).

Em AGs com alta diversidade, convivem na mesma área espécies florestais distintas, visando ter matéria reversível em fonte de energia, frutos, banco de sementes, extração de princípios ativos e essências. Também nesses sistemas mais complexos, caracterizados por serem compostos por espécies ornamentais, forrageiras além de madeireiras, obtêm-se fontes de renda alternativas em diferentes épocas do ano possibilitando que o produtor elabore planos estratégicos de mercado e renda, tendo em vista que um sistema florestal em monocultura demanda um maior horizonte de planejamento e prazos para que a matéria prima ou produto possa ser extraído e comercializado, sendo a mesma convertida em rendimentos financeiros líquidos para o produtor.

Apesar das AGs apresentarem potencial para utilização em propriedades de agricultura familiar na região Sudoeste do Paraná, estes ainda são pouco difundidos e adotados por agricultores da região (TONINI et al., 2009). Sendo assim, a Associação de Estudos, Orientação e Assistência Rural (Assesoar), em convênio de parceria assinado com a UTFPR, Campus Dois Vizinhos (DV), fomentou a implantação de 40 AG em propriedades de agricultores familiares da região Sudoeste do Paraná. Consequentemente, alguns avanços tais como: conhecimento da comunidade local dos benefícios de uma agrofloresta e diferentes fontes de renda ao longo do ano foram obtidos até o momento para a difusão de AGs na região. Todavia, mais pesquisas devem ser realizadas pela UTFPR-DV para gerar as referências e acompanhar com qualidade e efetividade as iniciativas regionais.

No ano de 2010 foi implantada uma unidade demonstrativa de AG na fazenda experimental da UTFPR-DV, a qual está se tornando um espaço didático, monitorado e conduzido por professores-pesquisadores e estudantes. Esta área deve ser utilizada ainda para a realização de pesquisas de longo prazo, destacando-se o monitoramento da evolução de

indicadores ecológicos do solo e da vegetação (proposta deste projeto). No Brasil, há poucos estudos aprofundados e de longo tempo sobre a interação entre o componente arbóreo e o solo em AGs, que se traduz em pouco conhecimento sobre, a influência dos atributos do solo sobre o crescimento das árvores e da influência do componente arbóreo (contínuo aporte de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes) na melhoria da qualidade do solo.

Os indicadores ecológicos que podem ser monitorados neste caso são os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, assim como a fitossociologia e a dendrometria das árvores, tornando assim este trabalho inédito tendo em vista os estudos existentes até o momento apresentam apenas avaliações individualizadas de alguns elementos em AGs como o de Silva et al. (2011) e de Campos et al. (2013), não havendo informações mais completas sobre a dinâmica dos atributos do solo, associados as variáveis dendrométricas e consequentemente ao potencial produtivo de uma agrofloresta.

Os atributos químicos e físicos do solo são indicadores da qualidade do solo, bem como refletem o manejo aplicado sobre a área. Alguns destes atributos são comumente aplicados em estudos de características do solo, sendo eles: porosidade total, macro e microporosidade e densidade para a física do solo. Para a química são eles: MO, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, V%, Al³⁺, CTC.

O emprego de alguns índices biológicos como Shannon, índice de diversidade e riqueza, Simpson, índice de diversidade que também indica a dominância, Evenness, índice de equabilidade entre populações (igualdade de distribuição entre populações) e respiração microbiana acumulada (CO₂) são muito importantes para avaliar a qualidade do solo, tendo em vista serem indicadores de equilíbrio e estresse de ambientes através do comportamento da fauna edáfica.

Semelhantemente as AGs, as matas nativas e ambientes sob vegetação natural apresentam variabilidade em seus atributos do solo (MONTEZANO et al., 2006). Além da variabilidade natural do solo, as práticas de uso e manejo das terras são fatores adicionais de variabilidade. Estudos já foram realizados dando ênfase as variações causadas pelo próprio uso e manejo (MELLO et al., 2006; ZANÃO JÚNIOR et al., 2010). O solo de modo geral apresenta variações nos seus atributos, mesmo em áreas consideradas homogêneas e que pertençam a mesma classe de solo (AMARO FILHO et al., 2007). Este fato está associado a condições de relevo, clima e organismos que atuam na gênese dos mesmos (SOUZA et al., 2010). Sendo assim, a produtividade das culturas pode ser variável em uma mesma área por menor que seja o grau de variação espacial de determinados atributos.

Atualmente, padrões são impostos à agricultura, como a produção de alimentos em elevada quantidade e qualidade, garantindo segurança alimentar, produção de energia, fibra, madeira e outros bens para a humanidade e, ainda, auxiliando na mitigação de gases causadores de efeito estufa. Nesse contexto, a Integração Lavoura-Pecuária (ILP) pode auxiliar no alcance desses objetivos, já que pressupõe o uso contínuo das áreas agrícolas e a melhoria da qualidade do solo com o passar do tempo (ENTZ et al., 2002; RAO et al., 2003).

Uma técnica que auxilia a avaliação dos recursos naturais é a geoestatística, a qual torna possível descrever a continuidade espacial, característica essencial de muitos fenômenos naturais. Essa técnica oferece um conjunto de ferramentas estatísticas que incorporam, no processamento dos dados, as coordenadas espaciais das observações realizadas (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989).

Dentre alguns dos parâmetros geoestatísticos estão o alcance, o patamar, o efeito pepita e a dependência espacial. O alcance define a máxima distância onde as amostras vizinhas apresentam correlação espacial entre si. A partir desse alcance (m) não há mais dependência espacial, ou seja, as amostras apresentam comportamento totalmente aleatório, sendo recomendado o uso da estatística clássica. O patamar é o valor do semivariograma que corresponde ao seu alcance. Já o efeito pepita é o erro, onde se busca mantê-lo próximo a zero. A dependência espacial é quando a correlação espacial entre as amostras, há semelhança entre amostras vizinhas e não há predomínio da aleatoriedade. Ela é classificada de acordo com Cambardella et al. (1994).

Estudos realizados a partir da espacialização de atributos do solo sinalizaram que a geoestatística foi uma ferramenta viável para identificar áreas de inconsistência em termos de correção da acidez do solo e definir dosagens adequadas e tipos de calcário para distintas zonas de acidez (HURTADO et al., 2010; REICHERT et al., 2008), bem como outras análises estatísticas e multivariadas.

Quando se trata de produção agrícola, florestal ou animal é de suma importância que se estude e entenda as características do solo, tanto dos atributos químicos, físicos bem como biológicos. Obtém-se assim conhecimento deste solo, sua fertilidade, seu comportamento físico perante aquelas espécies introduzidas no meio, a interação com a fauna edáfica, de modo a maximizar a sua produção e conseqüentemente com o produto final obter maiores rendimentos tanto em termos de produção da cultura quanto de lucros.

Os ecossistemas naturais apresentam integração harmoniosa entre a cobertura vegetal e os atributos do solo, resultante de processos essenciais de ciclagem de nutrientes e acumula-

ção e decomposição da matéria orgânica. Contudo, a ação antrópica ocasiona alterações nesses atributos e, na maioria das vezes, causa impacto ambiental negativo (SILVA et al., 2007).

Sob vegetação natural a matéria orgânica do solo se encontra estável e, quando submetida ao uso agrícola, pode ocorrer redução significativa no seu conteúdo, de modo mais especial quando utilizados métodos de preparo com revolvimento intensivo do solo e sistemas de cultura com baixa adição de resíduos. Nesse cenário, pode ser estabelecido um processo de degradação das condições químicas, biológicas e físicas do solo, aderidas as perdas de produtividade das respectivas culturas (BAYER E MIELNICZUK., 2008),

A conversão de sistemas naturais em ambientes agrícolas pode culminar em compactação do solo, conseqüente do pisoteio animal ou implementos agrícolas, cultivo intensivo e empregando um sistema de manejo inadequado (HAMZA e ANDERSON, 2005). O grau de compactação provocado pelo pisoteio animal pode ser influenciado por vários fatores, dentre eles: textura, sistema de pastejo, quantidade de resíduo vegetal na superfície, altura de manejo da pastagem e ainda pela umidade do solo (LANZANOVA et al., 2008).

As inter-relações das propriedades do solo controlam os processos e os aspectos atrelados a sua variação temporal e espacial, de forma que qualquer alteração pode influenciar diretamente a sua estrutura e a atividade biológica e, conseqüentemente, a sua qualidade (CARNEIRO et al., 2009). Análises de alterações nas propriedades do solo, conseqüentes de impactos da intervenção antrópica em ecossistemas naturais, podem constituir importante ferramenta de auxílio no monitoramento da conservação ambiental, permitindo caracterizar a situação atual, alertar para situações de risco e prever situações futuras.

Quanto à avaliação das características químicas do solo, esta é de suma importância para tornar possível a determinação da qualidade do aporte orgânico e da disponibilidade de nutrientes. O estoque de carbono orgânico do solo sofre redução em seus teores com o preparo, reduzindo conseqüentemente os nutrientes ligados a este, numa camada de 10 cm no solo (SHUKLA e LAL, 2005).

Em áreas conduzidas sob AG, pastagens, e sistema de plantio direto tem seus teores de carbono orgânico aumentados em relação às áreas sob cerrado, processo inverso dos sistemas convencionais de cultivo que atuaram em sentido contrário (NEVES et al., 2004). Nestas circunstâncias, o manejo da matéria orgânica se torna essencial, tendo em vista que ela responde por grande parte da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, favorecendo a retenção de cátions e por conseqüência a redução de sua lixiviação, além de melhorar a estrutura do solo pelo fato de atuar na estabilização de seus agregados.

Na região sudeste de Minas Gerais, Arato et al. (2003), em uma AG composta de espécies arbóreas nativas e frutíferas, quantificaram a produção e decomposição de serapilheira e a compararam à produção de serapilheira verificada em florestas nativas da mesma região. Os autores constataram que a produção total de serapilheira da AG foi semelhante a da floresta nativa estudada, permitindo inferir que a AG se comportou como uma floresta nativa neste quesito. Além disso, o cultivo da espécie *Gliricidia sepium* e sua utilização como adubo verde em AG elevou os valores de matéria orgânica leve do solo (MARIN et al., 2006).

Menezes et al. (2008) observaram maiores valores de pH, Ca^{2+} e Mg^{2+} do solo de AGs de Rondônia em relação aos solos de florestas remanescentes adjacentes, quando comparados aos solos das florestas remanescentes adjacentes, atribuídos ao aporte de nutrientes que restaram da queima anterior da floresta.

Assim, o sistema AG se apresenta como uma alternativa que visa à melhoria da qualidade produtiva do solo, pois cultivos anuais crescem consorciados com os componentes arbóreos dentro da mesma área, bem como podem ser consorciados com espécies animais, organizados no mesmo espaço e/ou tempo.

As áreas que utilizam AGs são mais sustentáveis que áreas de monoculturas, bem como os sistemas de ILP porque apresentam maior diversidade de espécies, à semelhança das matas nativas, mantendo assim a fertilidade do solo por meio da ciclagem de nutrientes. Contudo, se fazem necessários mais estudos em agroflorestas para entender sobre as melhorias da fertilidade do solo pela adoção desses sistemas na região oeste do Paraná.

A agricultura sustentável pode ser alcançada se trabalhando com o delineamento de sistemas agropecuários de produção que incluam tecnologias e normas de manejo que conservem ou melhoram a base física e a capacidade de sustentação do agroecossistema (FRANCO, 2000).

Assim, a esta combinação tem sido atribuída às melhorias nas propriedades do solo, físicas e químicas, em muitos casos degradados, como também da atividade biológica de microorganismos, considerando uma maior entrada de matéria orgânica tendo em vista as várias vias de entrada de uma AG (MENDONÇA et al., 2001).

A sustentabilidade das AGs ocorre em função das interações do fluxo de energia, da ciclagem de nutrientes e da biodiversidade do sistema (RODRIGUES, 2004). Entre as plantas existem interações econômicas e ecológicas, podendo-se combiná-las de forma complementar e sinérgica (AMADOR e VIANA, 1998).

Na avaliação da sustentabilidade, o monitoramento dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo é fundamental (DORAN e PARKIN, 1994). Estudos recentes relatam a

importância dos atributos físicos do solo, que têm sido utilizados para verificar alterações do manejo em sistemas conservacionistas comparados a sistemas convencionais de cultivo (D'ANDRÉA et al., 2002), (MENEZES et al., 2008).

Ao avaliar o solo sob diferentes pastagens e coberturas florestais, Melloni al. (2008) observaram a eficiência dos atributos físicos como indicadores de sua qualidade, os quais revelaram grande discrepância entre a pastagem e os demais ecossistemas e alta similaridade entre as florestas. Carvalho et al. (2004) constataram menor densidade aparente, menor resistência à penetração, maior porosidade, e maior estabilidade de agregados nas AGs quando comparada ao mesmo solo sob plantio convencional.

A ação antrópica exercida no solo através das práticas agrícolas afeta em maior ou menor grau os microorganismos e a fauna edáfica que utilizam o solo como habitat (LAVELLE et al., 1997) e, que por sua vez, exercem funções importantes no solo como a ciclagem de nutrientes (ASSAD, 1997). A ação dos microorganismos edáficos do solo contribui para a formação de agregados estáveis, que permitem proteger uma parte da matéria orgânica de rápida mineralização (SÁNCHEZ e REINÉS, 2001), sendo importante na mobilidade vertical de nutrientes assimiláveis, favorecendo o sistema radicular das plantas (SILVA et al., 2006).

O uso contínuo do solo pode alterar o equilíbrio e a diversidade da fauna edáfica. Características como diversidade de populações e densidade de bioindicadores podem demonstrar as condições de um solo, seus níveis de equilíbrio ou perturbação (BROWN, 1997). Devido à alta sensibilidade da fauna de solo diante das mudanças do sistema, esta pode ser utilizada como indicador para medir o impacto das práticas de manejo sobre o solo e também como um bioindicador de qualidade do solo (ROVEDDER et al., 2004).

O uso de diferentes coberturas vegetais e de práticas culturais podem influenciar diretamente sobre a população da fauna edáfica. Esse efeito, na maioria das vezes, está relacionado à permanência de resíduos orgânicos sobre a superfície do solo. As coberturas normalmente formam uma camada espessa de folhas mortas, com vários estratos de matéria fresca e em decomposição, capaz de abrigar uma fauna mais diversificada (CANTO, 1996).

Os sistemas de preparo e cultivo do solo podem modificar a densidade e diversidade dos grupos mais frequentes de organismos edáficos (BARETTA et al., 2003; SILVA et al., 2006).

O presente estudo teve como objetivos principais avaliar a variabilidade dos atributos químicos, físicos e biológicos e posteriormente a variabilidade espacial destes atributos do solo. Por fim, através de análise de correlação correlacionar ambos com as variáveis

dendrométricas das árvores da AG através do coeficiente de correlação de Spearman. Estas análises foram divididas em três capítulos respectivamente.

Como objetivos específicos foram:

- a) Avaliar a variabilidade dos seguintes atributos químicos: M.O, P, K⁺, pH, Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SB, V (%), CTC para as camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade na Agrofloresta (AG), mata nativa (M) e Integração Lavoura-Pecuária (ILP). Avaliar a dependência espacial dos atributos químicos no solo da AG;
- b) Avaliar a variabilidade dos seguintes atributos físicos: densidade do solo, resistência do solo à penetração, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, umidade do solo para as camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade nos sistemas AG, M e ILP. Avaliar a dependência espacial dos atributos físicos no solo da AG;
- c) Avaliar variabilidade dos seguintes índices biológicos: Indivíduos, Ordens, Respiração microbiana acumulada (CO₂), Simpson, Shannon, Evenness das espécies edáficas na profundidade de 0-10 cm para os sistemas AG, M e ILP. Avaliar a dependência espacial dos índices biológicos no solo da AG;
- d) Expressar a variabilidade dos atributos químicos, físicos e dos índices biológicos nos sistemas AG, M e ILP, bem como a variabilidade e o grau de dependência espacial destes na AG. Gerar mapas temáticos dos atributos do solo através de semivariogramas para a AG;
- e) Correlacionar os atributos do solo com as variáveis dendrométricas da AG.

Como algumas das perguntas a serem respondidas entre elas é a variabilidade química, física e biológica do solo nos três sistemas avaliados ainda, se há dependência espacial dos atributos do solo na AG, bem como a capacidade da ferramenta geoestatística em diagnosticar variabilidade espacial entre os atributos avaliados na AG. Em um último capítulo detectar as possíveis correlações entre as variáveis dendrométricas da AG com as características físicas, químicas e biológicas do solo.

Assim, com base nos resultados obtidos através das análises estatísticas e geoestatísticas descrever o comportamento dos atributos do solo, a variabilidade espacial deste e a correlação com as variáveis dendrométricas da AG. Portanto, o estudo poderá indicar a viabilidade de uma AG para a região Sudoeste do Paraná perante as condições de solo

existentes. Ainda, servir de indicador ambiental entre os sistemas de uso do solo avaliados, levando em consideração a qualidade do solo em termos de atributos químicos, físicos e biológicos, perante seus respectivos manejos e seus níveis de equilíbrio e perturbação.

Por fim, abordando essa temática de estudo, este será uma ferramenta indicadora tanto da viabilidade ou inviabilidade da geoestatística para este tipo de estudo e as melhores condições para as espécies, no caso do AG, podendo assim servir de argumento válido para os produtores rurais sobre a viabilidade em se cultivar em AG, quebrando assim um paradigma e a resistência dos produtores em plantar florestas e integrar vários produtos ou subprodutos da mesma, levando em conta os ganhos ambientais proporcionados por esta forma de produção.

1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADOR, D.B.; VIANA, V.M. Sistemas agroflorestais para recuperação de fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p. 105-110, dez. 1998.

ARATO, H.D.; MARTINS, S.V.; FERRARI, S.H.S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa – MG. **Revista Árvore**, v. 27, n. 5, p. 715-721, 2003.

ARMANDO, M.S; BUENO, Y.M; ALVES.E.R.S; CAVALCANTE, E.S. Agrofloresta para Agricultura Familiar. **Circular Técnica**, v.16, n.1, p.1-11, 2002.

AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R. F. D.; ASSIS JUNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 415-422, 2007.

ASSAD, M.L.L. **Fauna do Solo**. In; VARGAS, M. A .T.; HUNGRIA, M. (Ed.). Biologia dos solos dos cerrados. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. p.363-443.

BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; MAFRA, A .L.; WIKDNER, L.P.; MIQUELLUTI, D.J. Fauna edáfica Bioline avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Revista Ciência Agroveterinárias**, v.2, n. 1, p.97-106, 2003.

BAYER, C. e MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.7-18.

BROWN, K.S. **Insetos como rápidos e sensíveis indicadores de uso sustentável dos recursos naturais**. In: MARTOS, H.L.; MAIA, N.B. (Ed.). Indicadores ambientais. Sorocaba: PUC / Shell Brasil, 1997. p.143-151.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society American Journal**, v.58, n.4, p.1501-1511, 1994.

CAMPOS, M.C.; SOARES, M.D.R.; OLIVEIRA, I.A.; SANTOS, L.A.C.; AQUINO, R.E. Variabilidade espacial de atributos físicos em Alfissol sob agrofloresta, região de Humaitá, estado de Amazonas, Brasil **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, n. 2, p. 149-159, 2013.

CANTO, A.C. Alterações da mesofauna do solo causadas pelo uso de cobertura com plantas leguminosas na Amazônia Central. **Revista Ciências Agrárias**, v.4, n.5, p.79-94, 1996.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S. e AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.1, p.147-157, 2009.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J.; ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestral. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 39, n. 11, p.1153-1155, 2004.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N, CURI, N.; FERREIRA, M.M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos cerrados no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 1047-1054, 2002.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. **Defining and assessing soil quality**. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BZEDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (eds.) *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.3-21. (Special Publication, 35).

ENTZ, M.H.; BARON, V.S.; CARR, P.M.; MEYER, D.W.; SMITH JR, S.R.; McCAUGHEY, W.P. Potential of forages to diversify cropping systems in the Northern Great Plains. **Agronomy Journal**, v.94, n.1, p.204-213, 2002.

FRANCO, F.S. **Sistemas agroflorestais: uma contribuição para a conservação dos recursos naturais na Zona da Mata de Minas Gerais**. 2000. 160 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Viçosa.

HAMZA, M.A. e ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, v.82, n.2, p.121-145, 2005.

HURTADO, S. M. C.; SILVA, C. A.; RESENDE, A. V.; PINHO, R. G. VON; INÁCIO, E. S. B.; HIGASHIKAWA, F. S. Spatial variability of soil acidity attributes and the spatialization of liming requirement for corn. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v.33, n.5, p.1351- 1359, 2010.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. 1.ed. New York: Oxford University Press, 1989. 5p.

LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T., ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C. e REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.3, p.1805-1816, 2008.

LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; LEPAGE, M.; WOLTERS, V.; ROGER, P.; INESON, P.; HEAL, O. W.; DHILLION, S. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal of Soil Biology**, v.33, n.4, p.159-193, 1997.

MARIN, A.M.P.; MENEZES, R.S.C.; SILVA, E.D.; SAMPAIO, V.S.B. Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistemas agroflorestal no Agreste Paraibano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n. 3, p. 555–564, 2006.

MELLO, G.; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.294-305, 2006.

MELLONI, R.; MELLONI, E.G.P.; ALVARENGA, M.I.N.; VIEIRA, F.B.M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n 6, p. 2461-2470, 2008.

MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; FERREIRA NETO, P. S. Cultivo de café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **Revista Árvore**, v.25, n. 3, p. 375-383, 2001.

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

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

NEVES, C.M.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N. MACEDO, R.L.G.; TOKURA, A.M. Estoque de carbono em sistemas agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região noroeste do estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 5, p. 1038–1046, 2004.

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

RODRIGUES, A.C.G. Ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais na região tropical: Funcionalidade e Sustentabilidade. In: MULLER, M.W.; RODRIGUES, A.C.G.; BRAN-DÃO, I.C.F.L.; SERÓDIO, M.H.C.F., (eds.) **Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: sustento da vida e sustento de vida**. Ilhéus: CEPLAC, 2004. p. 67- 88.

RAO, S.C.; PHILLIPS, W.A.; MAYEUX, H.S.; PHATAK, S.C. Potential grain and forage production of early maturing pigeonpea in the Southern Great Plains. **Crop Science**, v.43, n.6, p.2212-2217, 2003.

ROVEDDER, A. P.; ANTONIOLLI, Z.I.; SPAGNOLLO, E.; VENTURINI, S.F. Fauna edáfica em solo suscetível à arenização na região sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.3, n.2, p. 87-96, 2004.

SÁNCHEZ, S.; REINÉS, M. Papel de La macrofauna edáfica en los ecosistemas ganaderos. **Pastos y Forrajes**, v.24, n.3, p.191-202, 2001.

SHUKLA, M.K.; LAL, R. Erosional effects on soil organic carbon stock in an on-farm study on Alfisols in west central Ohio. **Soil e Tillage Research**, v. 81, n. 2, p. 173-181, 2005.

SILVA, R. F. da; AQUINO, A. M. de; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. de F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.4, p.697- 704, 2006.

SILVA, M.B.; KLIEMANN, H.J.; SILVEIRA, P.M. e LANNA, A.C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.12, p.1755-1761, 2007.

SILVA, D.C.; SILVA, M.L.M.; CURI, N.; OLIVEIRA, A.H.O.; SOUZA, F.S, MARTINS, S.G E MACEDO, R.L.G. Atributos do solo em Sistemas Agroflorestais, Cultivo Convencional e Floresta Nativa. **Revista de Estudos Ambientais**, v.13, n.1, p.77-86, 2011.

SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; MAGALHÃES, P. S. G.; SIQUEIRA, D. S. Spatial variability of soil attributes and sugarcane yield in relation to topographic location. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12, p. 250–1256, 2010.

TONINI, F.; GRIGOLO, S.C.; FABRO, J.R. Análise de Resultados do Projeto Agrofloresta na Recuperação e Manutenção dos Recursos Naturais para a Região Sudoeste do Paraná. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.4, n.2, p.3411-3414, 2009.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; PEREIRA, J. M. A. Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em Latossolos sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.2, p.389-400, 2010.

2.0 Variabilidade dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo em diferentes sistemas de uso e manejo

Variability of chemical, physical and biological attributes of soil in different systems of use and management

2.1 RESUMO

O estudo da variabilidade dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo é de suma importância para executar o manejo correto do solo. Este estudo teve como objetivo avaliar a variabilidade dos atributos do solo entre diferentes sistemas de uso e manejo, sendo eles mata nativa (M), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Agrofloresta (AG) no município de Dois Vizinhos - PR. Foram avaliados alguns atributos químicos (MO, P, K⁺, pH, Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SB, V%, CTC) físicos (macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade) e ainda a umidade nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm bem como alguns índices biológicos do solo em 0-10 cm, sendo eles: indivíduos, ordens, Shannon, Simpson, Evenness e respiração microbiana acumulada (CO₂). Os sistemas apresentam variabilidade entre si para os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, onde predominam maiores teores de matéria orgânica na mata nativa, seguida de menor densidade e maior umidade do solo. A integração-Lavoura-Pecuária apresentou a maior resistência à penetração do solo e o menor teor de matéria orgânica, ainda a maior densidade do solo. A maior macroporosidade e porosidade total foram constatadas na mata nativa para a profundidade de 10-20 cm. O maior número de insetos foi constatado na Integração Lavoura-Pecuária, porém menor diversidade e riqueza e maior dominância.

Palavras-chave: Fertilidade do solo, Resistência mecânica do solo, Fauna edáfica, Manejo.

2.2 ABSTRACT

The study of the variability of the chemical, physical and biological attributes of the soil is of great importance to execute the correct management of the soil. The objective of this study was to evaluate the variability of soil attributes between different systems of use and management, including native forest (M), Agroforestry (AG) and Agroforestry (AG) in the municipality of Dois Vizinhos - PR. Some physical attributes (macroporosity, microporosity, total porosity, density) were evaluated, as well as the moisture content at 0- 5, 5-10 and 10-20 as well as some soil biological indexes at 0-10 cm, being: individuals, orders, Shannon, Simpson, Evenness and accumulate respiration microbial (CO₂). The systems present variability among the chemical, physical and biological attributes of the soil, where organic matter predominates in the native forest, followed by lower density and higher soil moisture. The integration-crop-livestock showed the highest resistance to soil penetration and the lowest content of organic matter, even the highest soil density. The highest macroporosity and total porosity were observed in the native forest for a depth of 10-20 cm. The highest number of insects was observed in the Crop-Livestock Integration, but less diversity and richness and greater dominance.

Key-words: Soil fertility, Soil mechanical resistance, Soil fauna, Management.

2.3 INTRODUÇÃO

Quando se trata de produção, seja ela agrícola, florestal ou animal é de suma importância que se estude e entenda as características do solo, tanto dos atributos químicos como físicos, bem como dos biológicos. Obtém-se assim conhecimento deste solo, sua fertilidade, seu comportamento físico e biológico perante as espécies introduzidas no meio, de

modo a maximizar a sua produção e conseqüentemente com o produto final obter maiores rendimentos tanto em termos de produção quanto de lucros financeiros.

Sendo assim, as ferramentas de análises da qualidade do solo possibilitam o conhecimento mais detalhado dos atributos deste, permitindo assim a aplicação de insumos e o manejo mais preciso da área, tendo em vista que sistemas de uso e manejo distintos apresentam comportamentos distintos.

O termo “Sistema Agroflorestal” corresponde a uma forma de uso da terra e manejo dos recursos naturais, nos quais espécies lenhosas (palmeiras, árvores, arbustos) são utilizadas em associação com cultivos animais ou agrícolas, na mesma área, de maneira simultânea ou em uma seqüência temporal (MONTAGNINI., 1992; UNRANI e JAIN., 2010). Dominando a técnica de AGs, entendendo sua dinâmica de implantação e condução, aliado ao conhecimento das características dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, pode-se entender e estimar qual será o crescimento e produção.

As florestas tendem a apresentar menor perda de solo e água em virtude da cobertura vegetal, a qual proporciona redução dos efeitos do impacto da gota d'água (chuva) com o solo, o que reduz o potencial desta de desagregar o solo. Assim, com uma menor perda de água e umidade a mata nativa tende a ser um ambiente mais estável e que propicia melhores condições para o desenvolvimento da fauna edáfica, resultado da maior disponibilidade de matéria orgânica e umidade. A manutenção deste sistema influi diretamente sobre as propriedades do solo, não somente as químicas, mas as físicas bem como as biológicas.

Para o sistema de Integração Lavoura-Pecuária, diante das mudanças climáticas ocorridas nos últimos anos em todo o mundo, este sistema vem a mitigar os efeitos dos gases do efeito estufa (GEE) emitidos na atmosfera. Assim, a intensificação do uso da terra em áreas já desmatadas surge como uma das alternativas aceitas pelos diferentes agentes

envolvidos no processo de desenvolvimento sustentável da agropecuária (FERNANDEZ e FINCO, 2014).

O presente trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade dos atributos químicos, físicos e biológicos, em diferentes sistemas de uso e manejo do solo, sendo eles: mata nativa secundária (M), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Agrofloresta (AG).

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado no município de Dois Vizinhos, localizado na região sudoeste no estado do Paraná, Brasil (“25° 45’ 04” Sul e longitudes entre “53° 03’ 05” Oeste). A vegetação típica da região é a floresta Floresta Ombrófila Mista e a altitude média da região em relação ao nível do mar é 509 metros.

De acordo com a classificação climática, o tipo de clima que ocorre em Dois Vizinhos é o Cfa, (sub-tropical, sem estação seca, com temperatura média do mês mais frio menor que 18°C e temperatura média do mês mais quente superior a 22°C) (ALVARES et al., 2013).

Os solos da região de Dois Vizinhos são, em sua grande maioria, Nitossolo Vermelho (BHERING et al., 2008), para a agrofloresta (AG: Q1- quadrante 1; Q2; Q3 e Q4), predominando Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário e Nitossolo Vermelho Eutrófico típico para a Mata nativa secundária (M) e Nitossolo Vermelho Eutrófico típico para o sistema Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Agrofloresta (AG).

Os Neossolos são solos pouco evoluídos formados por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico.

Os Neossolos Litólicos são solos com horizonte hístico ou A, assentes sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou sobre material com 90% ou mais de sua massa constituída por

fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus). Admite um horizonte B em início de formação, cuja espessura não corresponde a qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Neossolo Litólico Eutrófico é um tipo de solo que apresenta saturação de bases superior a 50%. Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário apresenta solos com contato lítico fragmentário.

Nitossolos são solos com 350g/kg ou mais de argila, inclusive no horizonte A, formados por material mineral que apresentam horizonte B nítico abaixo do horizonte A. Solos com matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B.

Nitossolos Vermelhos apresentam matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (exclusive BA). Nitossolo Vermelho Eutroférico é o tipo de solo que apresentam saturação de bases maior que 50% e teores de ferro de 150g/kg a 360 g/kg na maior parte dos iniciais 100 cm de profundidade do horizonte B. Nitossolo Vermelho Eutroférico típico é um solo que não se enquadra nas classes anteriores (EMBRAPA, 2006).

Uma das áreas avaliadas é a Agrofloresta (AG) da UTFPR – Dois Vizinhos especificamente, localizada próximo à Horta desta Universidade, com 1790,8 m², composta por espécies florestais nativas, sendo madeireiras e fruteiras, dentre elas pitangueiras e cedros, com 8 linhas de plantio, onde que as duas linhas externas servem de bordadura. A área foi dividida em quatro quadrantes de mesmas dimensões de acordo com os distintos grupos de espécies. Assim, em cada quadrante foram efetuadas 6 amostras para cada grupo de análises.

A AG era usada como uma horta, sendo que a mesma sofria aplicações de insumos agrícolas como fertilizantes a base de NPK, calcário e constantes revolvimentos do solo com grande arradora. Esse fato pode refletir no comportamento dos atributos do solo bem como no desempenho das culturas posteriormente implantadas.

Levantamento das Classes de Solos



0 115 230 460 690 920
Metros

Autora: Mariana Aparecida Fontana Cabreira
 Data: 09 de novembro de 2015
 Fonte: Delimitação à campo
 Sistema de Projeção UTM 22S
 Datum - Sirgas 2000
 Escala: 1:10.000

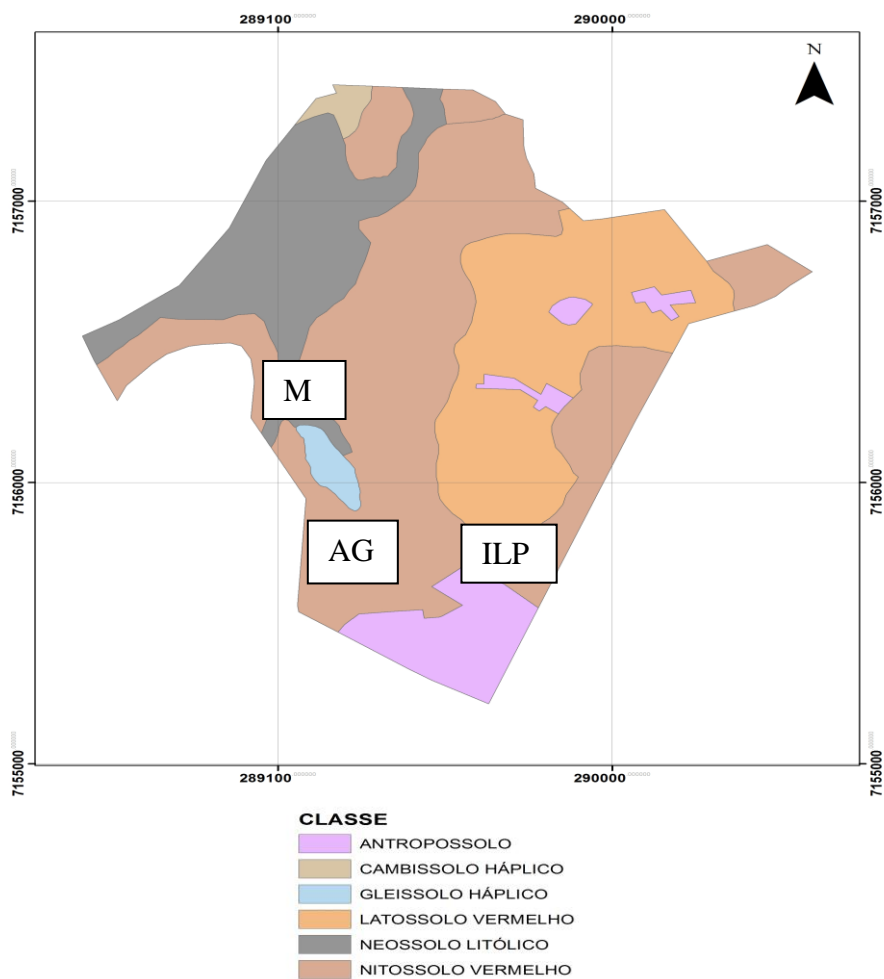


Figura 1 – Classificação dos solos nas áreas de estudo no interior da UTFPR – DV.

A segunda área de estudo é a mata nativa secundária (M), a qual encontra-se em estágio secundário de regeneração e composta por espécies típicas da região sudoeste do Paraná. Está localizada próximo ao AG, área esta pertencente à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Campus Dois Vizinhos – PR.

A terceira área de estudo é o sistema de Integração-Lavoura-Pecuária (ILP), usado para pastejo do gado e cultivo de culturas de inverno, bem como soja no verão. Localiza-se próximo da M e da AG.

As amostras de solo foram coletadas em sistema de grade de pontos distantes, sendo a distância entre pontos de 10 m aproximadamente. As coletas em cada ponto foram realizadas em três profundidades (0-5, 5-10 e 10-20 cm), em trincheiras escavadas com o auxílio de pá de corte e realizada a coleta de solo em anéis para análises químicas e físicas para cada um dos 24 pontos amostrais correspondentes a AG (6 pontos no Q1: quadrante 1; 6 pontos no Q2: quadrante 2; 6 pontos no Q3: quadrante 3 e 6 pontos no Q4: quadrante 4), 6 para a M e outros 6 para a ILP. Ainda, com o auxílio de um Sistema de Posicionamento Global (GPS) obteve-se as coordenadas geográficas, assim gerando a malha de avaliação.

Para a amostragem física do solo, na mesma trincheira foi realizada a coleta de solo nos anéis, nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Estas amostras foram submetidas às análises físicas, para cada um dos 24 pontos amostrais correspondentes a AG, 6 a mata nativa e 6 ao ILP. Também foi realizada a avaliação à resistência à penetração (RP) do solo com o aparelho “PenetroLog” até a profundidade de 50 cm 48 horas após chuva de modo a padronizar a interferência da umidade nos resultados de RP das diferentes área de estudo. Para RP foram coletados 8 valores em cada ponto amostral.

O solo coletado foi submetido às análises de atributos químicos e físicos, seguindo a metodologia de TEDESCO et al. (1995) e EMBRAPA (1997) onde para os atributos químicos a fertilidade do solo foi quantificada no laboratório de análises da UTFPR, Campus Pato

Branco, pela determinação dos atributos químicos: teor de matéria orgânica (MO) de acordo com WALKLEY e BLACK (1934), pH (em CaCl₂), K⁺ e P (extraídos com a solução de Mehlich-1), Ca²⁺, Mg²⁺ e Al trocável (extraído com KCl 1 mol L⁻¹), H⁺ + Al³⁺ (acidez potencial), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%).

Quanto aos atributos físicos, estes foram levados ao laboratório de solos da UTFPR, Campus Dois Vizinhos, onde foram analisados os atributos: densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, bem como a RP do solo e umidade volumétrica.

Para os atributos biológicos, foram instaladas armadilhas de queda do tipo “Trampas de Tretzel” (*Pitfall-Traps*) para coleta edáfica nos sistemas de uso do solo em cada ponto amostral, totalizando 6 amostras para M, 6 para ILP e 24 para AG. As armadilhas com diâmetro de 12 cm foram confeccionadas com frascos plásticos e enterradas ao nível de 10 cm de profundidade no solo. A avaliação da respiração microbiana acumulada (CO₂) foi dada através da solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹, onde ocorreram as avaliações em 15, 30 e 45 dias após a incubação (JENKINSON e POWLSON, 1976a,b) mantendo-se em 60% da capacidade de campo e realizada a fumigação das amostras com clorofórmio isento de álcool. Foram calculados os seguintes índices: indivíduos, ordens, Shannon, Simpson e Evenness.

Foi utilizado o programa Excel® para elaboração dos gráficos e as médias foram comparadas usando o erro padrão da média. Ainda foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson entre os caracteres densidade e umidade do solo. Para as variáveis de número de insetos foi construído o gráfico de Box-plot para representar e comparar a variabilidade entre os tratamentos e estimados os índices de riqueza e diversidade baseados no número e ordem de insetos, usando o programa Past (HAMMER et al., 2001).

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em relação à química do solo (Tabela 1), nota-se que há um maior acúmulo de MO na M, para as camadas de 0-5 e 5-10 cm de profundidade. Há maiores teores de Mg^{2+} , SB e CTC para a M nas profundidades de 0-5 cm, como constatado por CARDOSO et al. (2011) o qual descreve que os valores para tais atributos reduziram significativamente quando realizada a conversão da vegetação arbórea em pastagem cultivada. Ainda, apresenta-se um maior teor de alumínio para os sistemas M e ILP, principalmente nas maiores profundidades.

Nota-se um baixo teor de P para a M em todas as profundidades avaliadas quando comparada ao ILP e a AG. Este fato pode estar relacionado a não adição de adubação química no solo da M, caso contrário do ILP e AG. MOREIRA e MALAVOLTA (2004) descrevem menores valores para MO, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB, CTC em sistema de pastagem, possivelmente atribuída à menor reciclagem de nutrientes nesse sistema quando comparado a M e AG.

Para todas as profundidades avaliadas nota-se que os valores de pH em CaCl foram superiores para a AG em relação à M e ILP. A acidificação do solo é um processo natural que pode estar relacionado à lixiviação de bases ou ainda a absorção desses elementos pelas árvores, o que seria mais evidente em solos intemperizados, pobres em nutrientes. Parte da acidez do solo pode estar relacionada à liberação de ácidos orgânicos durante a decomposição da serapilheira (ALEXANDER e CRESSE, 1995). Outro fator que pode ter interferido para os maiores valores de pH na AG é seu histórico anterior, sendo que a mesma era uma horta e recebia um manejo agrícola, com cargas de calcário e fertilizantes químicos.

Os maiores valores para Al^{3+} trocável foram observados nos sistemas de uso M e ILP. Os teores de Al^{3+} trocáveis variaram entre os sistemas de uso do solo e em profundidade, onde os maiores valores para este são justificados pelos baixos valores de pH, facilitando a solubilização do Al^{3+} trocável no solo. Ainda, os maiores valores para o Al^{3+} podem estar li-

gados ao efeito da MO complexando parte desse elemento e reduzindo sua extração pela solução KCl (MAFRA et al., 2008).

Os maiores valores médios para pH, K^+ , Ca^{2+} , V%, CTC e SB na AG estudada podem ser atribuídos pelo retorno de nutrientes na forma de serapilheira, como cita em um estudo realizado na Austrália, NOBLE e RANDALL (2005), onde verificaram que o retorno de nutrientes de *Eucalyptus cloeziana*, na forma de serapilheira, aumentou os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ no solo. Ainda, estes resultados podem estar atrelados ao fato que a AG anteriormente era uma horta, onde a mesma recebia fertilizantes químicos, elevando os teores dos mesmos como constatado neste estudo.

Os quadrantes Q1 e Q2 em todas as profundidades apresentam maiores teores para o atributo P, caso contrário ao observado por FONSECA et al. (1993), em solos sob eucalipto. Fato este pode estar relacionado à aplicação de adubo químico na formulação NPK na AG. Os quadrantes Q2 e Q3 apresentaram os maiores teores de K^+ para todas as profundidades avaliadas. Este fato pode estar atrelado a que a AG anteriormente era uma área de horta, onde a mesma recebia altas cargas de adubação.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, dos quadrantes da AG (Q1, Q2, Q3 e Q4), Mata nativa (M) e área de sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP). Os valores representam a média \pm o erro padrão da média de seis pontos de amostragem.

Área	M.O. g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K ⁺ mg dm ⁻³	pH CaCl ₂	Al ³⁺ KCl	Ca ²⁺ cmol _(c) dm ⁻³	Mg ²⁺ cmol _(c) dm ⁻³	SB cmol _(c) dm ⁻³	V%	CTC
Camada 0-5 cm										
Q1	46,7 \pm 2,5	99,9 \pm 19,0	345,4 \pm 50,7	5,7 \pm 0,1	0,0 \pm 0,0	8,7 \pm 0,4	2,8 \pm 0,3	12,3 \pm 0,3	78,5 \pm 0,8	15,7 \pm 0,4
Q2	58,1 \pm 5,4	89,6 \pm 33,2	545,1 \pm 71,2	6,0 \pm 0,1	0,0 \pm 0,0	8,3 \pm 0,6	4,1 \pm 0,7	13,6 \pm 0,9	82,5 \pm 1,2	16,4 \pm 0,8
Q3	48,3 \pm 1,7	28,2 \pm 9,2	469,2 \pm 41,0	5,4 \pm 0,1	0,0 \pm 0,0	7,4 \pm 0,4	2,5 \pm 0,3	11,1 \pm 0,5	74,2 \pm 0,8	14,9 \pm 0,5
Q4	41,3 \pm 2,0	40,7 \pm 4,7	387,1 \pm 88,6	5,6 \pm 0,1	0,0 \pm 0,0	8,9 \pm 0,3	2,5 \pm 0,2	12,4 \pm 0,2	78,5 \pm 0,7	15,8 \pm 0,4
M	79,7 \pm 12,2	4,9 \pm 0,3	245,7 \pm 14,9	4,8 \pm 0,2	0,1 \pm 0,0	10,2 \pm 2,1	4,6 \pm 0,9	15,5 \pm 1,8	72,5 \pm 5,2	21,0 \pm 1,1
ILP	41,6 \pm 3,4	19,4 \pm 1,3	280,5 \pm 98,0	4,8 \pm 0,1	0,1 \pm 0,0	4,9 \pm 0,2	3,9 \pm 1,3	9,6 \pm 1,4	64,8 \pm 3,7	14,5 \pm 1,1
Camada 5-10 cm										
Q1	41,3 \pm 1,9	117,5 \pm 29,0	225,5 \pm 42,4	5,7 \pm 0,1	0,0 \pm 0,0	9,0 \pm 0,4	2,6 \pm 0,2	12,2 \pm 0,4	78,0 \pm 1,1	15,6 \pm 0,3
Q2	44,2 \pm 3,3	76,1 \pm 34,3	380,9 \pm 101,8	5,9 \pm 0,2	0,0 \pm 0,0	8,1 \pm 0,7	3,6 \pm 0,6	12,7 \pm 0,7	79,1 \pm 1,6	16,0 \pm 0,6
Q3	37,1 \pm 0,7	14,8 \pm 5,0	353,2 \pm 52,6	5,3 \pm 0,1	0,0 \pm 0,0	7,2 \pm 0,3	2,3 \pm 0,4	10,4 \pm 0,4	72,3 \pm 0,8	14,4 \pm 0,4
Q4	34,9 \pm 1,0	36,9 \pm 5,4	254,2 \pm 58,0	5,5 \pm 0,1	0,0 \pm 0,0	9,1 \pm 0,3	2,2 \pm 0,1	11,9 \pm 0,4	76,0 \pm 1,0	15,7 \pm 0,5
M	50,7 \pm 5,3	1,2 \pm 0,3	126,4 \pm 19,7	4,4 \pm 0,3	0,4 \pm 0,1	5,5 \pm 1,4	2,8 \pm 0,3	8,6 \pm 1,5	55,6 \pm 7,4	15,2 \pm 0,7
ILP	29,3 \pm 0,6	8,2 \pm 1,6	232,0 \pm 98,7	4,3 \pm 0,2	0,2 \pm 0,1	4,0 \pm 0,2	3,0 \pm 1,2	7,5 \pm 1,4	55,8 \pm 4,3	13,1 \pm 1,3
Camada 10-20 cm										
Q1	37,1 \pm 1,6	89,8 \pm 14,5	160,3 \pm 32,9	5,5 \pm 0,1	0,0 \pm 0,0	8,6 \pm 0,2	2,6 \pm 0,2	11,6 \pm 0,3	75,3 \pm 0,8	15,4 \pm 0,2
Q2	36,4 \pm 2,4	74,6 \pm 37,8	316,7 \pm 85,8	5,8 \pm 0,2	0,0 \pm 0,0	7,9 \pm 0,8	3,6 \pm 0,6	12,3 \pm 1,0	78,7 \pm 2,1	15,5 \pm 0,9
Q3	34,0 \pm 3,0	17,3 \pm 6,9	265,2 \pm 30,3	5,3 \pm 0,1	0,0 \pm 0,0	7,6 \pm 0,3	2,2 \pm 0,2	10,5 \pm 0,3	73,6 \pm 1,2	14,2 \pm 0,3
Q4	34,4 \pm 1,2	19,7 \pm 2,6	180,5 \pm 48,3	5,5 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	9,3 \pm 0,2	2,1 \pm 0,2	11,8 \pm 0,2	75,7 \pm 0,9	15,6 \pm 0,2
M	36,6 \pm 4,1	0,8 \pm 0,5	84,1 \pm 10,9	4,2 \pm 0,3	0,8 \pm 0,3	3,6 \pm 1,1	2,8 \pm 0,3	6,6 \pm 1,3	48,4 \pm 7,4	13,1 \pm 0,7
ILP	26,1 \pm 0,6	4,0 \pm 1,6	154,4 \pm 89,0	4,3 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	3,3 \pm 0,2	1,7 \pm 0,3	5,4 \pm 0,4	50,8 \pm 2,9	10,7 \pm 0,7

M.O.: matéria orgânica (g dm⁻³); K e P em mg dm⁻³; Al, Ca, Mg e SB: cmol_(c) dm⁻³. Metodologias: M.O. por digestão úmida; P e K extraídos com solução de Mehlich I; pH em CaCl₂ 1:2,5; Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L⁻¹.

Para as variáveis densidade e umidade do solo, (Figura 2) há uma maior densidade no sistema de uso do solo ILP para a profundidade de 0-5 cm, ainda uma menor umidade, havendo uma relação inversamente proporcional entre essas variáveis. Ainda para tal, calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson para as profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade do solo, onde obteve-se os seguintes valores: -0,986, -0,977 e -0,833 respectivamente. Isso indica elevada relação linear negativa entre estes dois fatores, ou seja, que a umidade do solo interfere na avaliação da densidade.

Os valores de densidade e umidade do solo para ILP mostram a ação negativa do manejo, onde estão entre os valores de densidade do solo considerados críticos ao crescimento radicular e infiltração de água, que segundo FERREIRA et al. (2010) está entre 1,27 e 1,57 g cm⁻³. Os valores para densidade na AG foram semelhantes ao ILP, especificamente nas profundidades de 5-10 (Figura 3) e 10-20 cm (Figura 4), fator que pode estar relacionado ao fato que a AG possui poucos anos de implantação e anteriormente sofria um manejo agrícola, com passagem de máquinas, vindo a compactar o solo.

As médias de densidade do solo na M destacaram-se como as mais baixas, assim como as médias de RP (Figura 5), entretanto apresentou a maior umidade para todas as profundidades, bem como o Q2 na profundidade de 10-20 cm para este último atributo. Segundo IMHOFF et al. (2000) a densidade do solo é diretamente proporcional a RP, ou seja, acréscimos nos valores de densidade do solo promovem diretamente acréscimos para os valores de RP, como constatado neste estudo.

Estes valores para a ILP podem ter ocorrido devido a idade da forrageira, umidade do solo no momento do pastejo, textura do solo (IMHOFF et al., 2000), altas taxas de lotação animal, sendo neste estudo superior à 10 animais/ha e pela degradação do solo, onde os valores mais críticos são encontrados nas primeiras camadas do solo (FERREIRA et al., 2010), indo ao encontro com os resultados obtidos neste estudo. MARCHÃO et al. (2007) afirma

que áreas de integração sofrem maiores incrementos de RP e densidade do solo, principalmente nas fases de pastagens (CARNEIRO et al., 2009). Em sistemas de pastejo contínuo ou com baixa rotação os animais permanecem na área de pastejo durante todo o período sendo sob chuva ou sol, isto favorece a compactação do solo e promove a depreciação da qualidade das pastagens e do solo (CECONI et al., 2007).

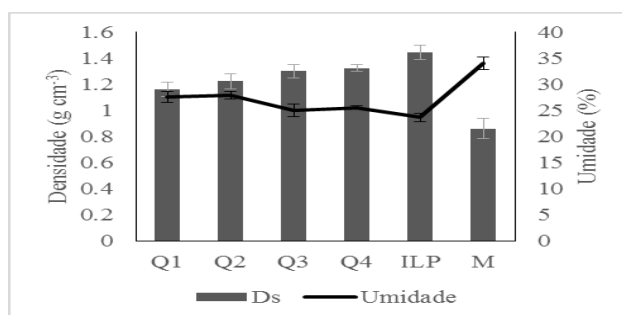


Figura 2 - Densidade aparente do solo (Ds) e umidade do solo dos quadrantes da agrofloresta (Q1, Q2, Q3 e Q4), área de sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Mata secundária (M), na camada de 0-5 cm. As barras representam o erro padrão da média.

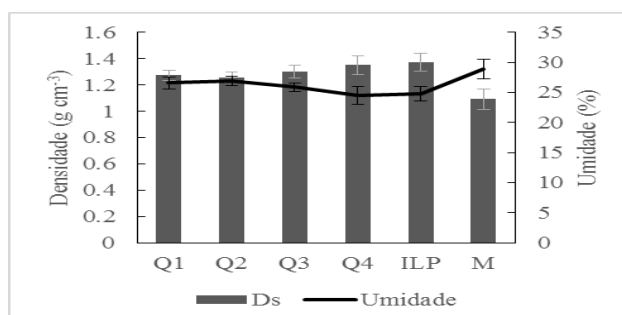


Figura 3 - Densidade aparente do solo (Ds) e umidade do solo dos quadrantes da agrofloresta (Q1, Q2, Q3 e Q4), área de sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Mata secundária (M), na camada de 5-10 cm. As barras representam o erro padrão da média.

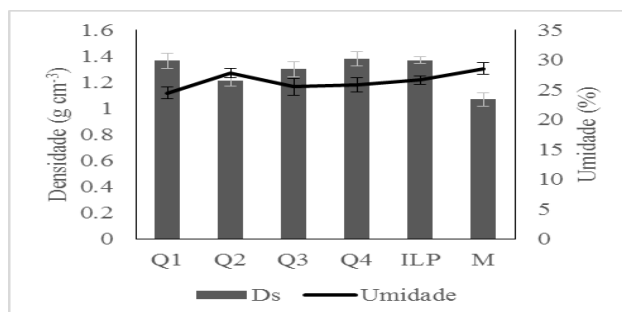


Figura 4 - Densidade aparente do solo (Ds) e umidade do solo dos quadrantes da agrofloresta (Q1, Q2, Q3 e Q4), área de sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Mata secundária (M), na camada de 10-20 cm. As barras representam o erro padrão da média.

A maior umidade no sistema de uso do solo M e Q2 para a profundidade de 10-20 cm provavelmente pode estar relacionado ao fato da maior cobertura vegetal proporcionada pelas árvores que ocorrem nessas áreas. A cobertura do solo com vegetação reduz a incidência de raios solares sobre a superfície do solo, reduzindo a perda de umidade por meio da evapotranspiração, como o resultado explicitado na figura anterior. MELLO et al. (2007), descreve que a alteração das proporções na cobertura vegetal influenciará nas condições de umidade do solo e na interceptação pelo dossel.

As quatro áreas da AG tiveram RP semelhante a da M, inclusive Q1 apresentou a menor RP em todas as camadas a partir de 5 cm. A menor RP na M e na AG quando comparada ao ILP indica a influencia do manejo do solo e que o crescimento das árvores esta influenciando de maneira positiva para uma menor RP, sendo um ambiente favorável para o crescimento radicular pela ausência da barreira de impedimento físico.

Essa resistência foi mais perceptível na camada de 0-20 cm de profundidade do solo, sendo a camada mais superficial e agricultável. Nas profundidades de 20-50 cm os comportamentos entre os sistemas de uso do solo foram similares, não havendo forte variabilidade de resistência. De acordo com trabalho realizado por CECONI et al. (2007) o uso dos solos em pastagens provoca aumento expressivo nos valores de RP, porém aumentos expressivos nas primeiras camadas do solo.

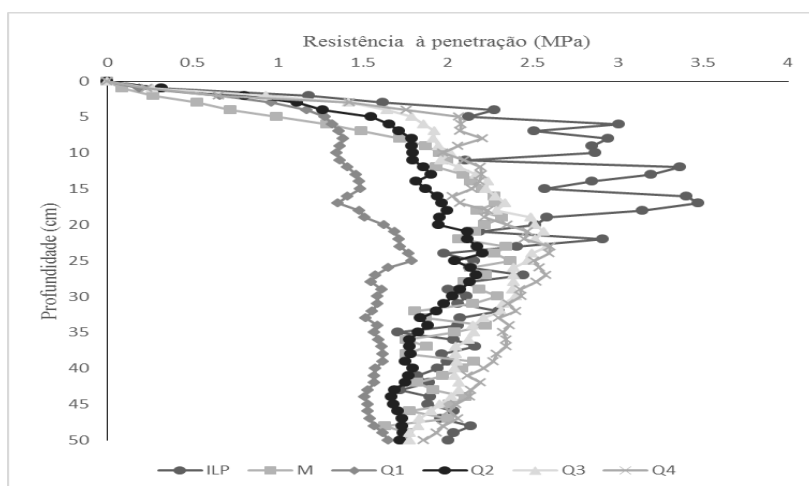


Figura 5 - Resistência (MPa) do solo à penetração (RP) dos quadrantes da agrofloresta (Q1, Q2, Q3 e Q4), área de sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Mata secundária (M).

Para as variáveis macroporosidade e porosidade total, percebe-se maiores valores no sistema de uso M para as profundidades de 0-5 e 10-20 cm de profundidade, como explicitado nas figuras 6 e 8. Já para a variável microporosidade houve diferenças para a profundidade de 0-5 cm na M, com os maiores valores.

Esses valores de macroporosidade são considerados adequados para as plantas, em relação à garantia de aeração do sistema radicular (REYNOLDS et al., 2002), cujo limite crítico é de 10% do volume total de poros, como constatado no presente estudo, acima de 30%. Geralmente o revolvimento do solo promove um aumento temporário da macroporosidade, quando comparado à garantia de aeração do sistema radicular (REYNOLDS et al., 2002).

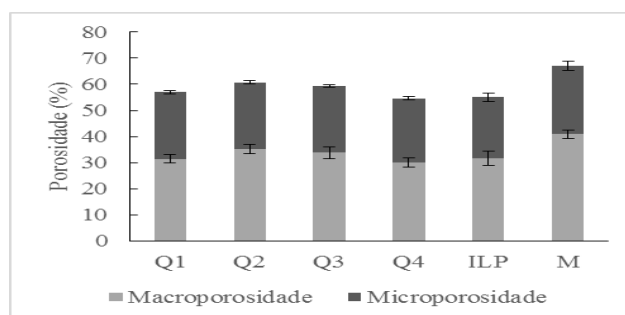


Figura 6 - Macro e microporosidade do solo dos quadrantes da agrofloresta (Q1, Q2, Q3 e Q4), área de sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Mata secundária (M), na camada de 0-5 cm. As barras representam o erro padrão da média.

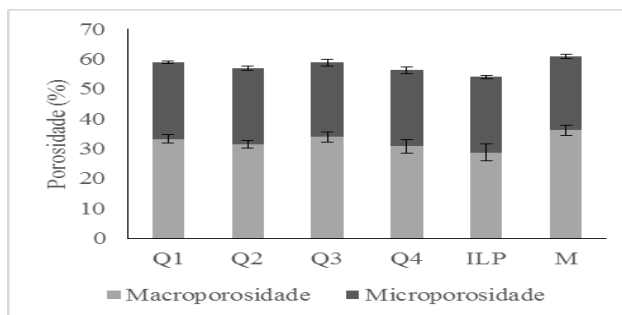


Figura 7 - Macro e microporosidade do solo dos quadrantes da agrofloresta (Q1, Q2, Q3 e Q4), área de sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Mata secundária (M), na camada de 5-10 cm. As barras representam o erro padrão da média.

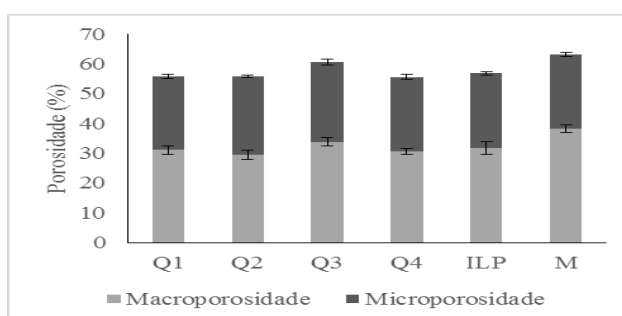


Figura 8 - Macro e microporosidade do solo dos quadrantes da agrofloresta (Q1, Q2, Q3 e Q4), área de sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Mata secundária (M), na camada de 10-20 cm. As barras representam o erro padrão da média.

Para a variável biológica do solo nota-se que houve uma maior respiração microbiana acumulada (CO_2) do solo no sistema de uso M para todos os dias de incubação (Figura 9). Resultados semelhantes foram observados por ASSIS JÚNIOR et al, (2003) em outra área de estudo, onde aos 20 dias a mata apresentou a maior respiração microbiana acumulada entre os sistemas avaliados, entre eles estava mata, monocultura de soja e milho, agroflorestas, pastagem e área desmatada. Ainda, SILVA et al, (2012) estudando duas agroflorestas e uma mata secundária observaram maior respiração microbiana na mata do que nos outros sistemas avaliados, resultados semelhantes aos obtidos no presente estudo.

Possivelmente estes resultados estão atrelados ao maior teor e qualidade da MO na M, para a profundidade de 0-10 cm (Tabela 1), bem como aos fatores microclimáticos proporcionados pela cobertura vegetal, tendendo a reduzir a temperatura do solo, aumentar a

retenção de umidade, como já constatado neste estudo para os resultados de umidade, onde estes interferem no metabolismo respiratório, na população e a biomassa microbiana (EIRA, 1995). Aos 30 dias de incubação destaca-se o Q3 com uma baixa respiração microbiana. De forma geral, o ILP teve respiração microbiana acumulada similar aos quadrantes da AG.

Segundo SAFFIGNA et al. (1989), solos com preparo convencional podem apresentar menor conteúdo de MO e uma biomassa microbiana com maior quociente metabólico que aquelas sob plantio direto. Isto pode ocorrer pela diferença de acessibilidade do substrato de carbono aos microrganismos e/ou mudanças nos padrões metabólicos ou, ainda, alterações na composição da microbiota (ALVAREZ et al., 1995).

Entretanto, não deve ser esquecido que o tipo de manejo do solo pode selecionar uma população microbiana mais eficiente, que perderia menos carbono via respiração. Assim, vale destacar que os valores de respiração basal descritos pela literatura são bastante variados. INSAM et al. (1991), indo de 3,3 a 33,6 $\mu\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de CO_2 no solo, sendo dependente da condição de solo, clima bem como condições metodológicas analíticas.

À medida que certa biomassa microbiana se torna mais eficiente menor quantidade de CO_2 é perdida pela respiração e uma fração significativa de carbono é incorporada à biomassa microbiana (INSAM e DOMSCH., 1988). Entretanto, ROSCOE et al. (2006) descrevem que uma maior taxa de respiração pode ser compreendida como característica positiva quando se considera que a decomposição dos resíduos orgânicos irá tornar disponível nutrientes para a planta.

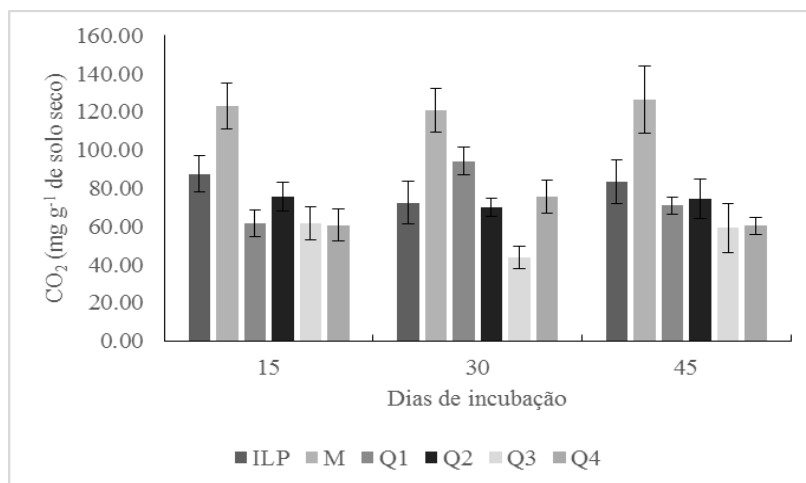


Figura 9 - Respiração microbiana do solo dos quadrantes da agrofloresta (Q1, Q2, Q3 e Q4), área de sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Mata secundária (M), aos 15, 30 e 45 dias de incubação. As barras representam o erro padrão da média.

A alta variabilidade na contagem dos insetos foi verificada pela distribuição no gráfico Box-Plot (Figura 10). Isso faz com que não haja diferenças entre os tratamentos, com exceção do ILP em relação à M, este com maior mediana do número de insetos.

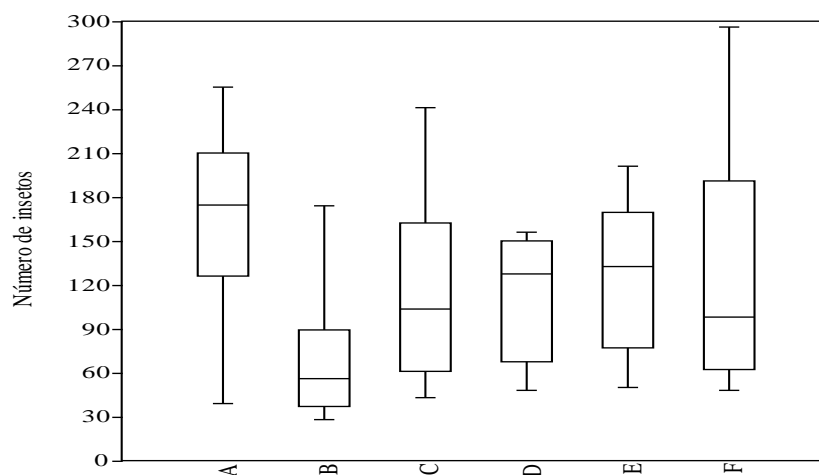


Figura 10 - Distribuição dos dados por gráfico Box-Plot do número de insetos em seis pontos de amostragem em área de Integração Lavoura-Pecuária (A), mata secundária (B) e dos quadrantes da agrofloresta - Q1, Q2, Q3 e Q4 (C, D, E e F, respectivamente).

Na área de M houve predominância das ordens de insetos Coleóptera (27,5% do número total de insetos) e Díptera (23,4%), ainda Hymenoptera (20,5%). No ILP predominou Coleóptera (52,5%) e Hymenoptera (32,6%). Para a AG predominou em Q1: Coleóptera

(17,9%), Collembola (35,3%), Díptera (18,3%) e Hymenoptera (22,5%); em Q2: Coleóptera (23,5%), Collembola (20,0%), Díptera (19,5%) e Hymenoptera (30,1%); em Q3: Coleóptera (12,2%), Collembola (23,3%), Díptera (12,9%) e Hymenoptera (43,2%); em Q4: Coleóptera (15,6%), Collembola (16,5%), Díptera (30,0%) e Hymenoptera (25,7%).

Embora o número de insetos coletados no ILP tenha sido maior em relação às outras áreas, a diversidade foi menor, com menor número de ordens e maior dominância de poucos grupos de insetos, como fica claro ao observarmos os valores para número de ordens, Simpson, Shannon e Evenness (Tabela 2).

As alterações nos atributos biológicos podem ser resultantes de uma série de fatores, como a heterogeneidade de hábitat, diferenças na riqueza de plantas das áreas, alterações microbiológicas e químicas do solo (CHAUVAT et al., 2003; PONGE et al., 2003; SOUSA et al., 2004; CUTZ-POOL et al., 2007), bem como distúrbios ocasionados pelas intervenções antrópicas que as florestas vêm sofrendo nas últimas décadas (ODUM et al., 1983; BARETTA et al., 2007).

As florestas nativas, de maneira geral, apresentam maior heterogeneidade de hábitat e são capazes de suportar maior diversidade de Collêmbolos (CHAUVAT et al., 2003; SOUSA et al., 2004), caso este indo ao encontro dos resultados obtidos neste estudo, onde somente a AG apresentou população de Collêmbolos, destacando-se o Q1, se assemelhando as condições de uma floresta nativa em equilíbrio. O Q1 e a M apresentaram maior heterogeneidade e uma maior capacidade de suporte da diversidade.

Alguns autores relatam que a diversidade da estrutura da cobertura vegetal pode influenciar na variabilidade da distribuição de comunidades de Collêmbolos edáficos (SAUTTER et al., 1998; CHAUVAT et al., 2003; PONGE et al., 2003). Caso este observado neste estudo, pois, nota-se no Q1 da AG uma maior porcentagem de Collêmbolos, seguido do Q3, Q2 e Q4, percentual decrescente respectivamente. Embora existir o fato de Collêmbola ser um

grupo ubíquo, pouco se conhece sobre a abundância de famílias de Collêmbolos no Brasil (ZEPPELINI FILHO e BELLINI, 2004).

A ocorrência de formigas (Hymenoptera) foi elevada em todos os sistemas, especialmente no Q3 da AG, ILP e Q2 em ordem decrescente respectivamente. Provavelmente em virtude do ambiente coberto e do manejo com a poda e roçada que promovem melhores condições climáticas e de disponibilidade de alimentos para o caso da AG. Esses grupos são conhecidos como “engenheiros do ecossistema”, em razão de seus efeitos sobre a estruturação do solo, com criação de estruturas biogênicas, que podem ser galerias, câmaras, ninhos e bolotas fecais, e que podem afetar significativamente propriedades físicas dos solos, bem como a disponibilidade de recursos para outros organismos (WOLTERS., 2000; ANDERSON., 2009).

Os sistemas Q1, M, Q2, Q4 e Q3 respectivamente, apresentaram maiores valores dos índices de Shannon e maior número de ordens. O manejo desses sistemas favorece a melhor cobertura do solo, com aporte de restos das culturas e do material das podas, no caso das AGs. De acordo com SILVA et al. (2007), a presença de cobertura vegetal no solo contribui para o aumento da disponibilidade de energia e promove a criação de novos habitats favoráveis à colonização por organismos invertebrados, o que pode beneficiar a sustentabilidade ecológica dos sistemas de produção, fato constatado neste estudo, onde que o ILP apresenta menor diversidade e riqueza ainda, maior dominância quando comparado a M e a AG.

As práticas agrícolas de manejo do solo provocam impacto e resultam em redução na densidade e riqueza dos organismos da macrofauna do solo (SILVA et al., 2006). Sendo assim, a implementação da AG, especificamente para o caso do Q1, Q2 e Q4, favoreceu o aumento na riqueza e densidade de espécies da macrofauna edáfica (Tabela 2), já que os maiores valores de riqueza, diversidade foram observados nesses sistemas, seguidos de menores dominâncias.

Tabela 2 - Índices de diversidade para o número de insetos classificados em ordem dos quadrantes da agrofloresta (Q1, Q2, Q3 e Q4), área de sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Mata nativa secundária (M). Os valores representam a média \pm o erro padrão da média de seis armadilhas.

Índices de diversidade	MN	ILP	Q1	Q2	Q3	Q4
Número Ordens	6,50 \pm 0,81	5,17 \pm 0,60	7,33 \pm 0,67	7,33 \pm 0,21	7,50 \pm 0,43	8,17 \pm 1,11
Indivíduos	69,17 \pm 21,6	165,50 \pm 29,3	115,67 \pm 28,5	113,50 \pm 17,7	126,83 \pm 21,8	127,17 \pm 37,0
Simpson	0,72 \pm 0,02	0,53 \pm 0,08	0,72 \pm 0,02	0,70 \pm 0,02	0,58 \pm 0,05	0,66 \pm 0,05
Shannon	1,46 \pm 0,05	0,98 \pm 0,15	1,47 \pm 0,03	1,45 \pm 0,04	1,24 \pm 0,10	1,40 \pm 0,14
Evenness	0,70 \pm 0,06	0,54 \pm 0,03	0,63 \pm 0,07	0,58 \pm 0,02	0,47 \pm 0,04	0,53 \pm 0,05

2.6 CONCLUSÕES

Há variabilidade dos caracteres físicos, químicos e biológicos nos sistemas de uso do solo avaliados. Predominam maiores teores de matéria orgânica na mata nativa, seguida de menor densidade e maior umidade do solo. A integração-Lavoura-Pecuária apresentou a maior resistência à penetração do solo e o menor teor de matéria orgânica, ainda a maior densidade do solo. A maior macroporosidade e porosidade total foram constatadas na mata nativa para a profundidade de 10-20 cm. O maior número de insetos foi constatado na Integração Lavoura-Pecuária, porém menor diversidade e riqueza, seguido de maior dominância.

2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADACHI, M.; BEKKU, Y.S.; RASHIDAH, W.; OKUDA, T.; KOIZUMI, H. Differences in soil respiration between different tropical ecosystems. **Applied Soil Ecology**, v. 34, n. 2-3, p. 258-265, 2006.

ALVARES, CA; STAPE, JL; SENTELHAS, PC; GONÇALVES, JLM; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p. 711-728, 2013.

ALEXANDER, C. E.; CRESSE, M. S. An assessment of the possible impact of expansion of native woodland cover on the chemistry of Scottish freshwaters. **Forest Ecology and Management**, v.73, n.1, p.1-27, 1995.

ALVAREZ, R.; DÍAZ, R.A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O.J. & BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. **Soil Tillage Research**, v.33, n.1, p.17-28, 1995.

ANDERSON, J.M. Why should we care about soil fauna? **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.8, p.835-842, 2009.

ASSIS JÚNIOR, S.L. et al. Atividade microbiana no solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore**, v.27, n.1, p.35-41, 2003.

BARETTA, D.; BRESOVIT, A.D.; KNYSAK, I. e CARDOSO, E.J.B.N. Trap and soil monolith sampled edaphic spiders (Arachnida: Araneae) in Araucaria angustifolia forest. **Science Agricola**, v.64, n.4, p.375-383, 2007.

BARROS, E.; MAHIEU, J.; TAPIA-CORAL, S.; NASCIMENTO, A.R.L.; LAVELLE, P. **Comunidade da macrofauna do solo na Amazônia brasileira**. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD, L. (Ed.). Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. Lavras: UFLA, 2008. p.171-191.

BHERING, S.B.; SANTOS, H.G. dos; BOGNOLA, I.A.; CÚRCIO, G.R.; MANZATTO, C.V.; CARVALHO JUNIOR, W. de; CHAGAS, C da S.; ÁGLIO, M.L.D.; SOUZA, J.S. de. **Mapa de solos do Estado do Paraná: legenda atualizada**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/IAPAR, 2008. 74p.

CARDOSO, E.L et al. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no pantanal Sul-mato-grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.2, p.613-622, 2011.

CARNEIRO, M.A.C et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.1, p.147-157, 2009.

CARTER, M.R. Microbial biomass as an index for tillage-induced changes in soil biological properties. **Soil Tillage Research**, v.7, n.1-2, p.29-40, 1986.

CECONI, D. E.; POLETTO, I.; LOVATO, T.; ELTZ, F. F. Influência do Uso do Solo nas Principais Propriedades Físicas na Microbacia Hidrográfica do Lajeado Biguá, Alecrim-RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31. 2007 Gramado-RS. **Anais Ciência do solo**. Gramado-RS: Serrano, 2007, 5p.

CHAUVAT, M.; ZAITSEV, A.S. & WOLTERS, V. Successional changes of Collembola and soil microbiota during forest rotation. **Oecologia**, v.137, n.2, p.269-276, 2003.

CONCEIÇÃO, P.C. **Agregação e proteção da matéria orgânica em dois solos do sul do Brasil**. 2006. 138p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Curso de Pós-graduação em agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CUTZ-POOL, L.Q.; PALACIOS-VARGAS, J.G.; CASTAÑOMENESES, G. e GARCÍA-CALDERÓN, N.E. Edaphic Collembola from two agroecosystems with contrasting irrigation type in Hidalgo State, México. **Application Soil Ecology**, v.36, n.1, p.46-52, 2007.

EIRA, A, F, E. Influência da cobertura morta na biologia do solo. Curitiba – PR, 1995. In: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 1.1995, Curitiba – PR. **Anais: 1º Seminário sobre cultivo mínimo do solo em florestas**, Curitiba- PR: IPEF, 1995, 18p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisas de Solo. 1997. 212 p.

FERNANDEZ, M.S e FINCO, M.V.A. Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária e políticas de mudanças climáticas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 2, p. 182-190, 2014.

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de Sistemas de Manejo de Pastagens nas Propriedades Físicas do Solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2010.

FOLLET, R.F. e SCHIMEL, D.S. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. **Soil Science Society American Journal**, v.53, n.4, p.1091- 1096 1989.

FONSECA, S.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; COSTA, L.M.; LEAL, P.G.L.; NEVES, J.C.L. Alterações em um Latossolo sob eucalipto, mata natural e pastagem. I. Propriedades físicas e químicas. **Revista Árvore**, v.17, n.3, p.271-288, 1993.

HAMMER, O et al. PAST: Paleontological Statistic software package for education and data analysis. **Paleontologia Eletrônica**, v.4, n. 1, p. 1-9, 2001.

HENDRIX, P.F.; HAN, C.-R.; GROFFMAN, P.M. Soil respiration in conventional and no-tillage agroecosystems under different winter cover crop rotations. **Soil Tillage Research**, v.12, n.2, p.135- 148, 1988.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P. da; TORMENA, C. A. Aplicações da Curva de Resistencia no Controle da Qualidade Física de um Solo sob Pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, 2000.

INSAM, H. e DOMSCH, K.H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbiologic. Ecology**, v.15, n.2, p.177-188, 1988.

INSAM, H.; MITCHELL, C.C. e DORMAAR, J.F. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of three ultisols. **Soil Biologic. Biochemical**, v.23, n.5, p.459-464, 1991.

JENKINSON, D.S. e POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. I. Fumigation with chloroform. **Soil Biology Biochemical**, v.8, n.3, p.167-177, 1976a.

JENKINSON, D.S. e POWLSON, D.S. The effect of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method of measuring soil biomass. **Soil Biology Biochemical**, v.8, n.3, p.209-213, 1976b.

UMRANI, R.; JAIN, C. K. **Agroforestry Systems and Practices**. Jaipur: Oxford Book Company, 2010. 641p.

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

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C. SILVA, E. M. da; SANTOS JUNIOR, J. de D. G. dos; SÁ. M. A. C. de; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade Física de um LATOSSOLO VERMELHO sob Sistemas de Integração Lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 873-882, 2007.

MELLO, C.R.; LIMA, J.M.; SILVA, A.M. Simulação do deflúvio e vazão de pico de em microbacia hidrográfica com escoamento efêmero. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.11, n.4, p.410-419. 2007.

MONTAGNINI, F. et al. **Sistemas Agroflorestales: principios y aplicaciones en los trópicos**. 2ª Edição verificada y aumentada. – São José, Costa Rica: Organizacion para Estudios Tropicales, 1992. 622p.

MOREIRA, A; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.39, n.11, p.1103-1110, 2004.

NOBLE, A.D.; RANDALL, P.J. **The impact of trees and fodder shrubs on soil acidification**. Barton: Rural Industries Research and Development Corporation, 2005.70p.

ODUM, E.P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1983. 434p.

PONGE, J.F.; GILLET, S.; DUBS, F.; FEDOROFF, E.; HAESE, L.; SOUSA, J.P. e LAVELLE, P. Collembolan communities as bioindicators of land use intensification. **Soil Biologic Biochemical**, v.35, n.1, p.813-826, 2003.

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURV.; C.F.; TAN, C.S.; LU, X.. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v.110, n.1-2, p.131-146, 2002.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados - MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006.42p.

SAFFIGNA, P.G et al. Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in an Australian vertisol. **Soil Biology and Biochemistry**, v.21, n.6, p.759-765, 1989.

SAUTTER, K.D.; MOTTA NETO, J.A.; MORAES, A.; SANTOS, H.R. & RIBEIRO JUNIOR, P.J. População de Oribatei e Collembola em pastagens na recuperação de solos degradados pela mineração do xisto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.3, p.1509-1513, 1998.

SILVA, D. S. N da; ROQUE, C. G.; ROTTA, G. W.; MACHADO, R. A. F.; SILVA, R. M.; SILVA, V. M. da; LANGE, A. Atributos Físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob Diferentes Sistemas de Uso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31. 2007, Gramado-RS. **Anais Ciência do Solo**. Gramado-RS: Serrano, 2007, 5p.

SILVA, R.F. da; AQUINO, A.M. de; MERCANTE, F.M.; GUIMARÃES, M. de F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.6 p.697-704, 2006.

SILVA, R.F. da; TOMAZI, M.; PEZARICO, C.R.; AQUINO, A.M. de; MERCANTE, F.M. Macrofauna invertebrada edáfica em cultivo de mandioca sob sistemas de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.6, p.865-871, 2007.

SILVA, M, S, C et al. Estoque de serapilheira e atividade microbiana em solo sob sistemas agroflorestais. **Floresta e Ambiente**, v.19, n.4, p.431-441, 2012.

SOUSA, J.P.; GAMA, M.M.; PINTO, C.; KEATING, A.; CALHÔA, F.; LEMOS, M.; CASTRO, C.; LUZ, T.; LEITÃO, P. & DIAS, S. Effects of land-use on Collembola diversity patterns in a Mediterranean landscape. **Pedobiologia**, v.48, n.5-6, p.609-622, 2004.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

UMRANI, R.; JAIN, C. K. **Agroforestry Systems and Practices**. Jaipur: Oxford Book Company, 2010. 163p.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v.37, n.1, p.29-38, 1934.

WOLTERS, V. Invertebrate control of soil organic matter stability. **Biology and Fertility of Soils**, v.31, n.1, p.1-19, 2000.

ZEPPELINI FILHO, D. e BELLINI, B.C. **Introdução ao estudo dos Collembola**. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2004. 82p.

3.0 Avaliação da variabilidade espacial de atributos químicos, físicos e biológicos do solo em agrofloresta através da geoestatística

Evaluation of spatial variability of chemical, physical and biological attributes of soil in agroforestry through geostatistics

3.1 RESUMO

Com o surgimento da informática aliada a outras ferramentas na agricultura e silvicultura, o cenário que se estabelece é o da imposição de uma maior sustentabilidade, sendo um combustível propulsor do desenvolvimento e aprimoramento das tecnologias que dão suporte a este avanço na sustentabilidade, como a geoestatística. Este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial para os atributos químicos, físicos e biológicos do solo em uma agrofloresta (AG) no município de Dois Vizinhos - PR. Foram avaliados os atributos químicos (M.O, P, K⁺, pH, Ca²⁺, Mg²⁺, V%, CTC) físicos (macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade e umidade), para as profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm e os índices biológicos: Número de indivíduos, Ordens, Shannon, Simpson, Equabilidade de Evenness e Respiração microbiana acumulada (CO₂) entre 0-10 cm, amostrados através de uma malha com intervalos de aproximadamente 10 m, perfazendo um total de 24 pontos e 72 amostras em uma área de 1790,8 m². Foram expressos os resultados para estatística descritiva e geoestatística, bem como os mapas resultantes da krigagem. Foi constatado para a química maior alcance médio das três profundidades na matéria orgânica, com dependência espacial moderada, forte e forte respectivamente, seguido pelo P com o menor alcance médio entre todas as profundidades, dependência espacial moderada, forte e fraca respectivamente. Para a física destacou-se a microporosidade com o maior alcance, dependência espacial forte, seguida da macroporosidade com o menor, forte dependência espacial. Para a resistência á penetração, maior alcance entre 15-20 e menor entre 0-5 cm,

moderada e forte dependência espacial respectivamente. Quanto aos índices biológicos, maior alcance para Evenness seguido de menor para ordens, com moderada e forte dependência espacial respectivamente.

Palavras-chave: Silvicultura de Precisão, Qualidade do solo, Manejo de solos.

3.2 ABSTRACT

With the emergence of informatics combined with other tools in agriculture and forestry, the scenario that is established is the imposition of greater sustainability, being a propellant fuel for the development and improvement of technologies that support this advance in sustainability, such as geostatistics. The objective of this work was to evaluate the spatial variability for the chemical, physical and biological attributes of the soil in an Agroforestry (AG) in the municipality of Dois Vizinhos - PR. The chemists attributes were evaluated (MO, P, K⁺, pH, Ca²⁺, Mg²⁺, V% and CTC), physical attributes (macroporosity, microporosity, total porosity, density and humidity) at the depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm and biological indexes: Number of individuals, Order, Shannon, Simpson, Evenness Equality and Cumulative Microbial Breath (CO²) between 0-10 cm, sampled through a mesh with intervals of about 10 m, total of 24 points and 72 samples in an area of 1790.8 m². Results were expressed for descriptive and geostatistical statistics, as well as maps resulting from kriging. It was observed for the chemistry a higher average range of the three depths in the organic matter, with moderate, strong and strong spatial dependence respectively, followed by the P with the lowest average range among all the depths, moderate, strong and weak spatial dependence respectively. For the physics it was emphasized the microporosity with the greater reach, strong spatial dependence, followed by the macroporosity with the smaller, strong spatial dependence. For penetration resistance, greater range between 15-20 and less between 0-5 cm, moderate

and strong spatial dependence respectively. Regarding biological indexes, greater reach for Evenness followed by lower for orders, with moderate and strong spatial dependence, respectively.

Key-words: Precision Forestry, Soil quality, Soil Management.

3.3 INTRODUÇÃO

O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo se destaca como um importante meio de diagnosticar a qualidade sob o ponto de vista da fertilidade e propriedades físicas do solo, propiciando o emprego de técnicas adequadas de manejo e condução de políticas de conservação e uso desse precioso recurso que não é renovável e necessita que se detenha conhecimento para trabalhá-lo de forma a não perdermos ou deteriorarmos sua capacidade de produção e suporte à vida.

Segundo EMBRAPA (2010) sistema agroflorestal é definido como uma forma de uso da terra na qual se combinam espécies arbóreas lenhosas frutíferas e madeireiras com cultivos agrícolas ou animais, de forma simultânea ou em sequência temporal e que interagem ecológica e economicamente.

Quando há domínio sobre a técnica de AGs, possibilita-se entender sua dinâmica de implantação e condução, aliado ao conhecimento das características dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, pode-se além de entender a dinâmica desse sistema, estimar qual será o crescimento e produção cultural, prevendo assim para cada condição o resultado da interação de ambiente e cultura, considerando as características químicas e físicas do solo, bem como as biológicas. Sendo assim é de grande valia o estudo das características dos atributos do solo bem como da dependência espacial entre estes atributos, para assim através

de uma análise mais detalhada realizar a tomada de decisões sobre manejo e condução de solo cultivado e sobre a cultura de interesse em uma AG.

A variabilidade espacial diz respeito à variação de determinados atributos que possam ser especializados, ou seja, possuem coordenadas. Uma maneira de estudar tal variabilidade é a partir das coordenadas que podem ser do tipo geográfica ou ainda atribuídas arbitrariamente em relação ao ponto amostrado onde o atributo será mensurado (ORTIZ, 2002; VIEIRA, 2000). A análise da dependência espacial de variáveis relacionadas com a agricultura facilita o entendimento do comportamento e ocorrência dessas variáveis nas áreas agrícolas e, respectivamente, a interferência dessas na produtividade (DURIGON, 2007).

Existem duas categorias para a variabilidade espacial: sistemática e ao acaso. WILDING e DREES (1983) explicam a variabilidade sistemática como sendo as mudanças graduais nos valores da propriedade que ocorrem em fatores de processos que atuam dentro da escala de observação ou formação. Em contrapartida, a variabilidade ao acaso constitui-se em mudanças das propriedades do solo que não podem ser relacionadas a uma causa conhecida, podendo ser em decorrência da intensidade do intemperismo, fatores biológicos, erosão, hidrologia diferencial, erros de amostragem, erros analíticos e a ação do homem. Ainda, se acredita que a dependência espacial está ligada parcialmente a essa variabilidade (GONÇALVES et al., 2001).

Os procedimentos utilizados no século XX baseavam-se na estatística clássica ou mesmo a de Fisher, que utilizava parâmetros como o desvio padrão e a média para representar um fenômeno, assumindo a hipótese que as variações de um local para outro são aleatórias (VIEIRA, 2000). KRIGE (1951) destaca que somente a informação dada pela variância não é suficiente para explicar o fenômeno em estudo, sendo necessário considerar a distância entre as observações. Partindo disso, surge o conceito de geoestatística, que leva em consideração a dependência espacial e a localização geográfica.

Em trabalho realizado por AQUINO et al. (2014) utilizando técnicas de estatística descritiva e geoestatísticas na avaliação de atributos químicos em solo de AG no Amazonas, onde determinaram os seguintes atributos químicos: pH, MO, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SB, CTC V(%) e H+Al, foram ajustados semivariogramas onde descrevem que os atributos do solo apresentaram estrutura de dependência espacial em sua maioria, com predominância de grau de dependência espacial moderado, nos semivariogramas.

O surgimento da informática na agricultura e silvicultura propicia maior sustentabilidade, sendo um combustível propulsor do desenvolvimento e aprimoramento das tecnologias que dão suporte a este avanço. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo em uma agrofloresta (AG) através da ferramenta geoestatística.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é uma agrofloresta (AG), a mesma descrita no artigo anterior, item 2.4, bem como a metodologia da coleta de amostras e análises de solo.

O estudo realizado contempla uma área onde esta era usada como uma horta, sendo que a mesma sofria aplicações de insumos agrícolas como fertilizantes a base de NPK, calcário e constantes revolvimentos do solo com grande arradora. Esse fato pode refletir no comportamento dos atributos do solo bem como no desempenho das culturas posteriormente implantadas.

De posse dos dados químicos, físicos e biológicos do solo, com o auxílio do programa de geoestatística GS+ Versão Beta 5.0 (ROBERTSON, 1998), calculou-se os valores para a estatística descritiva. Posteriormente foi selecionado o modelo de semivariograma o qual melhor se ajustou ao conjunto de dados para os atributos do solo, levando em consideração o R² na técnica de validação cruzada (CRESSIE, 1991) e menor

resíduo (RSS), bem como o menor efeito pepita. Os cálculos de semivariância foram baseados em uma distância máxima de $\frac{3}{4}$ da maior distância da área em estudo no momento de gerar o semivariograma. Para todos os atributos adotou-se o semivariograma isotrópico. No momento de seleção do modelo para a variável em análise foram expressos os valores para efeito pepita (Co), patamar (Co + C) e alcance (A), nos quais avaliou-se os valores para selecionar o modelo que mais se ajustava a situação.

Realizou-se a classificação de acordo com CAMBARDELLA et al. (1994) para a dependência espacial onde: forte (efeito pepita menor ou igual a 25% do patamar), moderada (quando o efeito pepita entre 25 e 75% do patamar) e fraca (quando o efeito pepita for maior que 75% do patamar). Foram expressos os seguintes valores para estatística descritiva: desvio padrão (Sd), coeficiente de variação (CV), média (Méd), mínimo (Mín.), máximo (Máx), assimetria (Assim.) e curtose (Cur.) para os atributos químicos, físicos e os índices biológicos.

Quanto à geoestatística, foram expressos os valores para modelo (Mod.), alcance (Alc.), efeito pepita (Ef.Pep.), grau de dependência espacial (G.D.E), classe (Classe) e coeficiente de determinação ajustado obtido na validação cruzada (R^2). Para a análise do coeficiente de variação (CV), usou-se a classificação de WARRICK e NIELSEN (1980), com variabilidade baixa para valores menores de 12%, média para valores entre 12 e 60% e alta para valores maiores que 60%.

Depois da seleção do modelo para construir o semivariograma procedeu-se com a interpolação através da krigagem ordinária, observando o maior valor para a técnica de validação cruzada (CRESSIE, 1991) e a menor soma dos quadrados dos resíduos (RSS). A seguir foram gerados os mapas para as interpretações dos atributos nos respectivos quadrantes da AG, para as três profundidades avaliadas no programa computacional Surfer (GOLDEN SOFTWARE, 1999). As cores no mapa expressam os distintos níveis para o atributo do solo,

sendo as mais claras menores valores e as mais escuras maiores valores. Isolinhas mais próximas indicam maiores níveis para o atributo.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os indicadores de distribuição dos valores analisados, assimetria e curtose apresentam valores não muito distantes do valor central zero, indicando que os atributos químicos são simétricos ou contem pequena assimetria. Desta maneira estas variáveis indicam que estão adequadas para o uso da geoestatística.

LEÃO et al. (2010) também encontraram distribuições normais estudando a variabilidade da textura de um Latossolo sob cultivo de citrus. Contudo a normalidade dos dados não é uma exigência na geoestatística, é conveniente apenas que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, fato constatado através da assimetria neste estudo, o que poderia comprometer as estimativas da krigagem, as quais são baseadas nos valores médios.

Tabela 3 - Estatística descritiva para os atributos químicos M.O.: matéria orgânica (g dm^{-3}); K^+ (potássio) e P_2O_5 (fósforo) em mg dm^{-3} ; Ca^{2+} (cálcio), Mg^{2+} (magnésio) em $\text{cmol}_{(c)} \text{dm}^{-3}$, pH (potencial hidrogeniônico) em CaCl_2 1:2,5, CTC (capacidade de troca catiônica) e V% (porcentagem de saturação por bases) nas três profundidades avaliadas.

Atributo	Sd	CV	Média	Mín.	Máx.	Assim.	Curt.
AG 0-5 cm							
Ca	1,194	14,37	8,308	5,900	10,100	-0,50	-0,64
CTC	1,361	8,67	15,680	13,670	19,340	0,91	0,64
K	168,273	39,71	423,746	175,950	793,730	0,50	-0,35
Mg	1,153	39,03	2,954	1,600	6,900	1,83	3,89
MO	9,656	19,87	48,585	36,190	79,070	1,43	2,28
P	55,059	85,25	64,580	3,280	199,850	1,43	1,03
pH	0,3319	5,85	5,666	5,000	6,600	0,84	1,39
V (%)	3,5180	4,47	78,584	70,990	88,310	0,38	1,11
AG 5-10 cm							
Ca	1,194	14,38	8,308	5,900	10,100	-0,50	-0,64
CTC	1,247	8,08	15,426	12,910	18,660	0,23	0,52
K	168,242	55,44	303,420	109,480	735,080	0,87	-0,04
Mg	1,016	38,25	2,658	1,300	5,700	1,53	2,04
MO	5,885	14,80	39,752	30,830	56,290	1,27	1,32
P	65,60	106,95	61,332	1,320	243,010	1,50	1,21
pH	0,325	5,82	5,583	4,900	6,500	0,57	1,43
V (%)	3,765	4,93	76,342	70,090	84,480	0,16	-0,50
AG 10-20 cm							
Ca	1,216	14,61	8,325	5,200	9,700	-1,13	0,52
CTC	1,272	8,39	15,159	12,580	18,440	0,60	1,05
K	139,469	60,45	230,690	89,930	586,500	0,99	0,07
Mg	0,998	38,15	2,616	1,400	5,700	1,63	2,55
MO	5,139	14,49	35,462	25,460	45,570	0,14	-0,66
P	57,384	113,98	50,344	0,0500	199,850	1,43	1,43
pH	0,294	5,32	5,520	4,900	6,500	1,32	3,85
V (%)	3,664	4,62	75,837	69,920	86,230	0,76	1,16

Onde: Sd: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Média: média aritmética; Min: mínimo; Máx: máximo; Assim: assimetria; Cur: curtose. Metodologias: M.O. por digestão úmida; P e K extraídos com solução de Mehlich I; pH em CaCl_2 1:2,5; Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis extraídos com KCl 1 mol L^{-1} .

Todos os atributos químicos apresentaram distribuição simétrica, indicados pelo pequeno distanciamento de diferença de assimetria e curtose. Possivelmente isto pode estar atrelado ao predomínio de baixos e médios CV obtidos para tais, indicando alta e média precisão para a dispersão relativa. Conforme afirmação de CORTEZ et al. (2011), quanto mais os valores de assimetria e curtose estão próximos de zero, maior a normalidade dos dados. Os valores

de CV para os atributos químicos variaram de baixos a altos (WARRICK e NIELSEN, 1980). Os critérios de WARRICK e NIELSEN (1980) têm sido adotados em muitos trabalhos relacionados com estudos de solo (AMARO FILHO et al., 2007; SOUZA et al., 2010).

Observou-se que todas as variáveis químicas estudadas exibiram dependência espacial de forte à moderada destacando-se a profundidade de 5-10 cm onde todas as variáveis apresentaram forte dependência espacial. Os modelos de semivariogramas que se ajustaram a dispersão dos atributos avaliados nas 3 profundidades foram o esférico, exponencial e o gaussiano. De modo geral, o modelo esférico ajustou-se para Mg^{2+} , P, MO, pH, como constatado para o pH por LAMDIM (2006). Para o modelo exponencial os atributos Ca^{2+} e V%. Já para o modelo gaussiano, o K^+ e a CTC.

De forma geral, estudos relacionados com a variabilidade espacial de atributos do solo têm mostrado que os modelos esférico e exponencial tem sido os mais frequentes (SIQUEIRA et al., 2010; SOUZA et al., 2010; DALCHIAVON et al., 2012) confirmando, assim, que os modelos ajustados no presente estudo estão de acordo com as pesquisas realizadas sobre variabilidade do solo.

Na profundidade de 0-5 cm, houve menor dependência espacial, enquanto que para as profundidades de 10-20 e 5-10 apresentaram maior dependência espacial em ordem decrescente respectivamente. Destaca-se para a profundidade de 0-5 cm dependência espacial moderada para os atributos K^+ , MO e P e, para a profundidade de 10-20 cm dependência espacial moderada somente para o K^+ .

Isso indica que existe variação entre as amostras distintas em termos de semelhança entre as mesmas. Quando em dependência espacial forte maior a semelhança entre as amostras. Em contrapartida, quando em menor dependência espacial menor a correlação na distribuição espacial entre as amostras vizinhas, ou seja, amostras com menor semelhança entre si.

Para o K^+ , seu maior alcance foi na camada de 5-10 cm, seguido de menor alcance de 10-20 cm.

Para o Mg^{2+} , o maior alcance se deu na camada de 0-5 cm, sendo o menor de 5-10 cm. Em relação a MO, obteve o alcance superior na camada de 0-5 cm, reduzindo bastante nas camadas de 5-10 e 10-20 respectivamente, semelhantemente comportou-se o P.

Os atributos pH e SB aumentaram seu alcance da camada de 0-5 a 5-10 cm, ambos posteriormente decrescendo para a camada de 10-20 cm.

Em relação ao V%, apresentou maior alcance de 0-5 cm e menor na profundidade de 5-10 cm. De modo geral, para todas as variáveis obtiveram-se maiores alcances do que os levantados em campo, isso pode servir de referência para estudos futuros, apresentando uma média de alcance para todos os atributos e todas as profundidades de 15,17 metros. Quanto maior a distância, maior a variância e a independência entre os pontos (VIEIRA et al., 2011).

O alcance é o principal parâmetro obtido através geostatística, este representa a distância na qual uma variável regionalizada apresenta continuidade espacial, sendo que excedendo essa distância, o comportamento espacial da variável passa a ser totalmente aleatório (LEMOS FILHO et al., 2008), não havendo nenhuma semelhança ou continuidade na distribuição espacial. Seu conhecimento é crucial à silvicultura de precisão, uma vez que os programas computacionais o utilizam para monitorar o maquinário quando da aplicação de insumos com taxas variáveis (DALCHIAVON et al., 2011).

Os atributos químicos do solo apresentam diferentes grupos de alcance, variando de 0-10, 10-20 e 20-50 m aproximadamente. Isto mostra que o alcance da dependência espacial depende da variável em estudo e que, se as amostragens realizadas nesta área considerassem estes alcances, os dados obtidos poderiam representar melhor a realidade da área amostrada (GREGO e VIEIRA, 2005).

Nos ajustes dos modelos dos semivariogramas, obteve-se melhor coeficiente de validação cruzada (R^2) para o atributo CTC na profundidade de 0-5 cm. Já para a profundidade de 5-10 cm, no atributo V% e, na profundidade de 10-20 cm, para o Ca^{2+} . Os piores coeficientes de validação cruzada para as camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm foram para o atributo MO, Mg^{2+} e P. Isso indica que o modelo não foi capaz de explicar o comportamento desses atributos com maiores precisões.

O maior efeito pepita foi constatado na MO e no K^+ nas camadas de 0-5 e 5-10 cm respectivamente e K e P em 10-20 cm. Em contrapartida, o menor efeito pepita foi obtido para pH, CTC e Mg^{2+} e Ca^{2+} da camada mais superficial até a mais profunda respectivamente.

Como todos os atributos químicos do solo apresentaram dependência espacial forte a moderada, trata-se de uma indicação clara de que esses atributos não são espacialmente independentes e de que o espaçamento usado não é maior que o necessário para revelar a dependência espacial ainda, que nesse caso a geoestatística se aplica (SILVA et al., 1989).

Em geral, os valores médios dos atributos analisados na profundidade de 10-20 cm foram menores. Os valores mais elevados dos teores de P, K^+ , e Mg^{2+} na camada superficial podem ser atribuídos às frequentes aplicações de fertilizante e calcário ao longo do tempo nesta camada, tendo em vista que anteriormente ao AG, essa área era uma horta, a qual sofria aplicações de fertilizantes e corretores de pH. A MO, em maiores teores nesta camada, proporcionou maiores valores da CTC do solo, como constatados por CORÁ et al., (2004).

Segundo VIEIRA et al. (2011), a variabilidade dos atributos do solo é influenciada pelo histórico de manejo, gerando cenários negativos ou positivos as culturas. Portanto, a variabilidade espacial encontrada neste estudo para os atributos químicos do solo pode estar relacionada ao manejo aplicado na área, alterando as propriedades deste solo. A influência do manejo e suas consequências são refletidas nos distintos alcances obtidos através da krigagem, sendo que dentro do alcance as amostras apresentam semelhança entre si ou possuem

correlação espacial, posterior a este as amostras não apresentam nenhuma semelhança ou correlação espacial, considerando a teoria das variáveis regionalizadas (TVR). Portanto, após esse alcance não há mais dependência espacial entre estes pontos, o comportamento espacial da variável passa a ser totalmente aleatório (LEMOS FILHO et al., 2008).

Tabela 4 - Parâmetros geoestatísticos dos semivariogramas ajustados para os atributos químicos M.O.: matéria orgânica (g dm^{-3}); K (potássio) e P (fósforo) em mg dm^{-3} ; Ca (cálcio), Mg (magnésio) em $\text{cmol}_{(c)} \text{dm}^{-3}$, pH (potencial hidrogeniônico) em CaCl_2 1:2,5, CTC (capacidade de troca catiônica) e V% (porcentagem de saturação por bases) nas três profundidades avaliadas.

Atributo	Mod.	Alc.	Ef.Pep.	G.D.E	Classe	R ²
AG 0-5 cm						
Ca	Exp.	11,67	0,00100	0,008	Forte	0,733
CTC	Esf.	13,51	0,00100	5,300	Forte	0,815
K	Gaus.	7,55	10,00000	39,630	Moderada	0,763
Mg	Esf.	20,56	0,00100	0,065	Forte	0,766
MO	Esf.	50,76	35,10000	27,610	Moderada	0,644
P	Esf.	12,88	1,00000	32,216	Moderada	0,676
pH	Esf.	18,20	0,00010	0,081	Forte	0,740
V (%)	Exp.	15,06	18,31000	0,054	Forte	0,700
AG 5-10 cm						
Ca	Esf.	26,39	0,07800	4,850	Forte	0,781
CTC	Gaus.	6,94	0,00100	0,0570	Forte	0,821
K	Esf.	16,06	5840,00000	23,615	Forte	0,810
Mg	Esf.	15,49	0,00100	0,088	Forte	0,665
MO	Gaus.	11,84	0,01000	0,032	Forte	0,709
P	Esf.	11,65	10,00000	0,230	Forte	0,668
pH	Esf.	28,32	0,00990	7,290	Forte	0,763
V (%)	Exp.	10,01	0,01000	0,059	Forte	0,836
AG10-20 cm						
Ca	Exp.	14,06	0,00100	0,059	Forte	0,861
CTC	Gaus.	11,60	0,10700	6,670	Forte	0,733
K	Gaus.	6,17	10,00000	61,881	Moderada	0,699
Mg	Esf.	18,65	0,08200	7,341	Forte	0,779
MO	Esf.	6,70	3,66000	13,256	Forte	0,760
P	Exp.	5,00	10,00000	295,945	Fraca	0,560
pH	Gaus.	14,09	0,00370	3,760	Forte	0,814
V (%)	Exp.	11,17	1,14000	6,647	Forte	0,719

Mod: modelo; Exp.: Exponencial; Esf.: Esférico e Gaus.: Gaussiano. Alc: alcance; Ef. Pep: efeito pepita; G.D.E: grau de dependência espacial; Classe: segundo grau de dependência espacial proposto por Cambardella e, R²: coeficiente de determinação da validação cruzada. Metodologias: M.O. por digestão úmida; P e K extraídos com solução de Mehlich I; pH em CaCl_2 1:2,5; Ca e Mg trocáveis extraídos com KCl 1 mol L⁻¹.

Quanto ao atributo químico Ca^{2+} , este apresentou maiores teores no Q1 e Q4, onde predomina cinza mais forte, para as camadas de 0-5 e 5-10 cm respectivamente (Figura 11). Já para a camada de 10-20 cm, predominam maiores teores somente para o Q4. Na maioria dos casos há variabilidade dos resultados, provenientes das interações dos nutrientes no solo. Vários autores propõem que, em vez da busca de teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} ou outros elementos adequados no solo, sejam observadas as relações entre nutrientes no solo, pois a disponibilidade do Ca^{2+} depende dessas relações (BÜLL e NAKAGAWA, 1995.; HERNANDEZ e SILVEIRA, 1998). Normalmente as deficiências de K^+ são observadas quando Ca^{2+} e Mg^{2+} são altos (BORGES e SOUZA, 2009), como constatado neste estudo, onde na área que ocorre maior teor de Ca^{2+} há menor de K^+ .

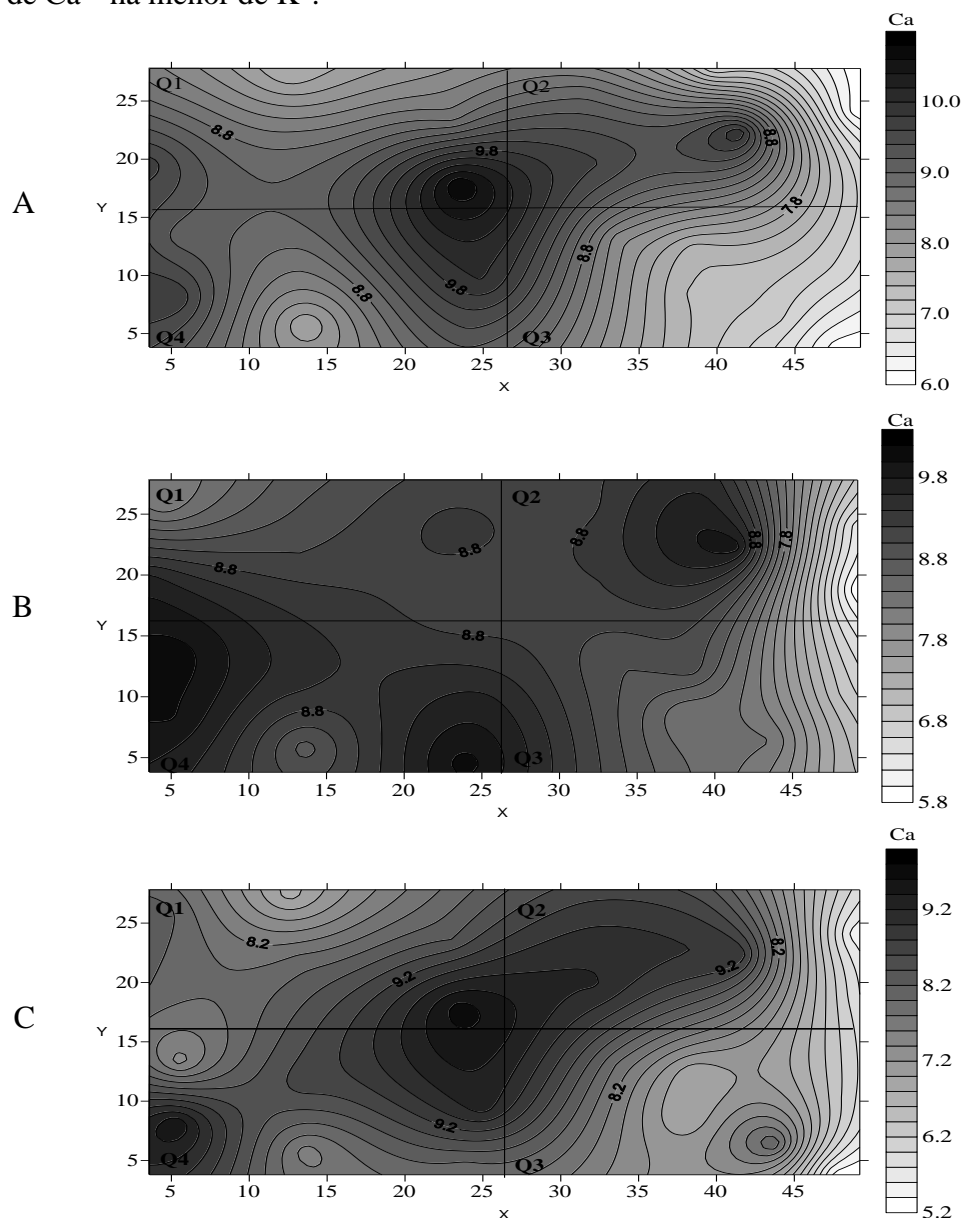


Figura 11 - Mapa temático da krigagem do atributo químico Ca^{2+} nas profundidades de 0-5 (A), 5-10 (B) e 10-20 cm (C).

De maneira geral, para a CTC, K^+ , Mg^{2+} , MO, P, pH e V% (Figuras 12 a 18) houveram maiores valores para estes no Q2 em todas as profundidades avaliadas, sendo este resultado também confirmado pela somas das médias neste quadrante. O predomínio da maior CTC situada no Q2 pode estar associado a uma maior eficiência nas reações de trocas de cargas, fator correlacionado à maior presença das raízes das árvores ou maior eficiência dessas raízes que atuam na melhoria da ciclagem dos nutrientes, refletindo na MO. Ainda, os maiores valores para CTC ocorrem no quadrante com maior SB, MO, pH, (Q2) confirmando a relação existente entre estes. Observa-se o decréscimo da CTC ao longo do perfil (IWATA et al., 2012).

Com o aumento da profundidade os teores de K^+ decrescem respectivamente. Os maiores teores de K^+ no Q2 para todas as profundidades avaliadas podem estar atrelados à alta atividade de decomposição realizada pela biota do solo que este ambiente ou espaço proporciona (LIMA et al., 2010).

Os autores BÜLL; NAKAGAWA, (1995); HERNANDEZ; SILVEIRA (1998) relatam que a disponibilidade de Mg^{2+} no solo bem como outros nutrientes como o Ca^{2+} dependem da relação dos nutrientes entre si. Os altos teores de nutrientes (as bases trocáveis como Mg^{2+} e K^+) verificados nos solo sob Q2 podem estar associados à alta atividade de decomposição realizada pela biota do solo (LIMA, 2010).

Para a MO, com o aumento da profundidade os teores decrescem. O fato do Q2 se destacar com os maiores valores para MO pode estar ligado a maior ocorrência de arbóreas ou sistemas radiculares eficientes com melhor distribuição dos nutrientes ao longo do perfil, aliada à atuação conjunta do bombeamento de nutrientes através das raízes das camadas inferiores do solo para a superfície, sendo este potencializado pelo manejo do sistema, onde

ocorre a dinamização da atuação biota do solo para disponibilização de nutrientes (PENEIREIRO, 1999), possivelmente como observado para Mg^{2+} , K^+ e CTC.

Além disso, o componente arbóreo promove maior deposição de material vegetal (raízes, galhos, folhas) que é mineralizado, refletindo nas reações químicas do solo e contribuindo para a melhoria dos parâmetros de fertilidade do solo sob o AG (CAMPANHA et al., 2007).

Observaram-se maiores níveis de P nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, podendo estar ligado ao fato da aplicação do mesmo na área através de adubo químico contendo P. Contudo, o decréscimo na transição para a camada de 10-20 confere com os resultados observados por ROSA et al. (2003), os quais salientam que os teores de P diminuem em profundidade. A presença desse elemento químico nos solos sob AG ainda pode ser atribuída, sobremaneira, ao contínuo aporte de resíduos orgânicos como resultado da ação de sistemas radiculares diversificados, indicando maior eficiência na ciclagem de nutrientes. (IWATA et al., 2012).

Outro fator que pode estar atrelado à presença desse elemento químico nesse ambiente é o manejo executado anteriormente, onde a área recebia cargas de fertilizantes à base de NPK.

Em relação ao pH, provavelmente o poder tampão da MO presente em Q2 possibilitou este resultado nesse quadrante, tendo em vista maiores teores para Q2. MOREIRA e COSTA (2004) observaram uma diminuição do pH do solo em profundidade para áreas reflorestadas da Amazônia, como constatado no presente estudo.

Quanto ao V%, os valores para este decrescem com o aumento da profundidade, até 5-10 cm. Esses valores maiores para o Q2 ocorrem, pois há maiores quantidades de cátions como K^+ , Mg^{2+} e parcialmente de Ca^{2+} no Q2 e pelo motivo de não estar havendo neutralização destas por H^+ ou Al^{3+} . Isso indica que não há Al em nível tóxico para as plantas (EMBRAPA, 2010).

Ainda, o Q3 apresentou os menores valores para os atributos químicos avaliados, possivelmente associados a uma menor eficiência nas reações de trocas de cargas, menor SB, MO, pH, confirmando a relação existente entre estes (IWATA et al., 2012). A baixa atividade de decomposição realizada pela biota do solo neste ambiente (LIMA et al., 2010), além disso, o componente arbóreo promove possivelmente promova menor deposição de material vegetal (raízes, galhos, folhas) que é mineralizado, refletindo nas reações químicas do solo e contribuindo para parâmetros de fertilidade do solo mais baixos (CAMPANHA et al., 2007).

Outro fator que pode estar atrelado a esses resultados é a aplicação desuniforme de fertilizantes sobre a área em estudo, bem como o processo de erosão, refletindo em ambientes distintos em termos de fertilidade do solo.

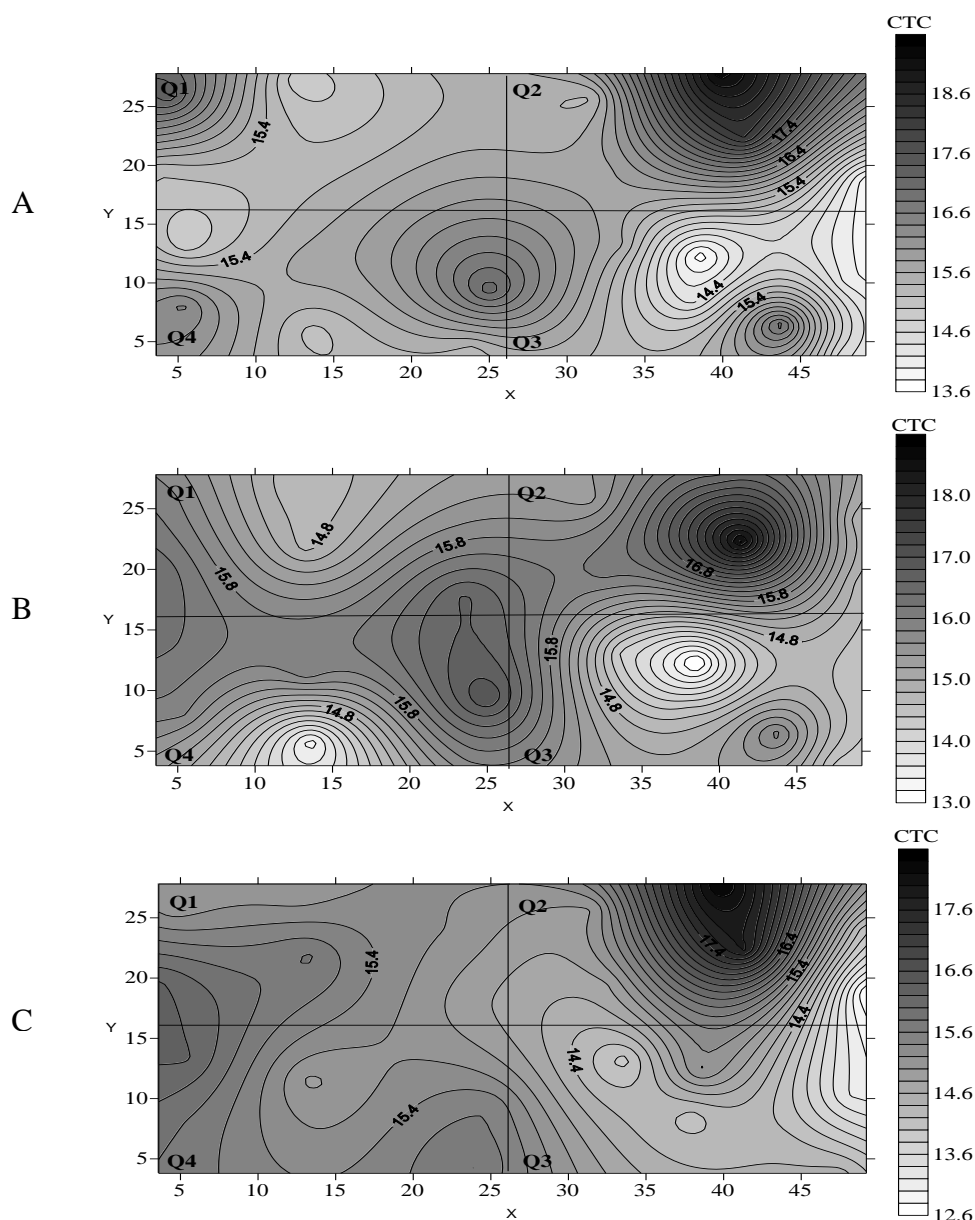


Figura 12 - Mapa temático da krigagem do atributo químico CTC nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.

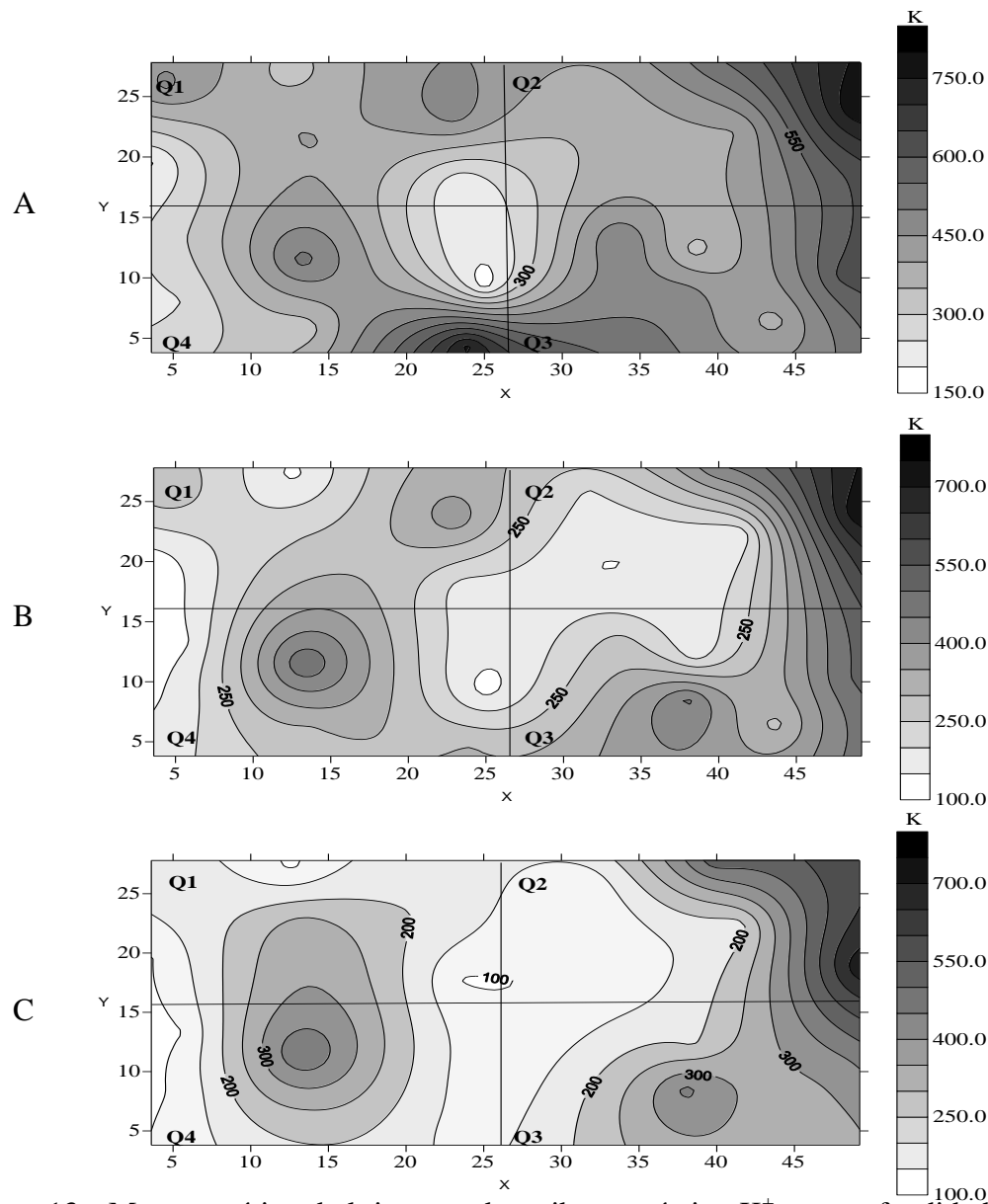


Figura 13 - Mapa temático da krigagem do atributo químico K^+ nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.

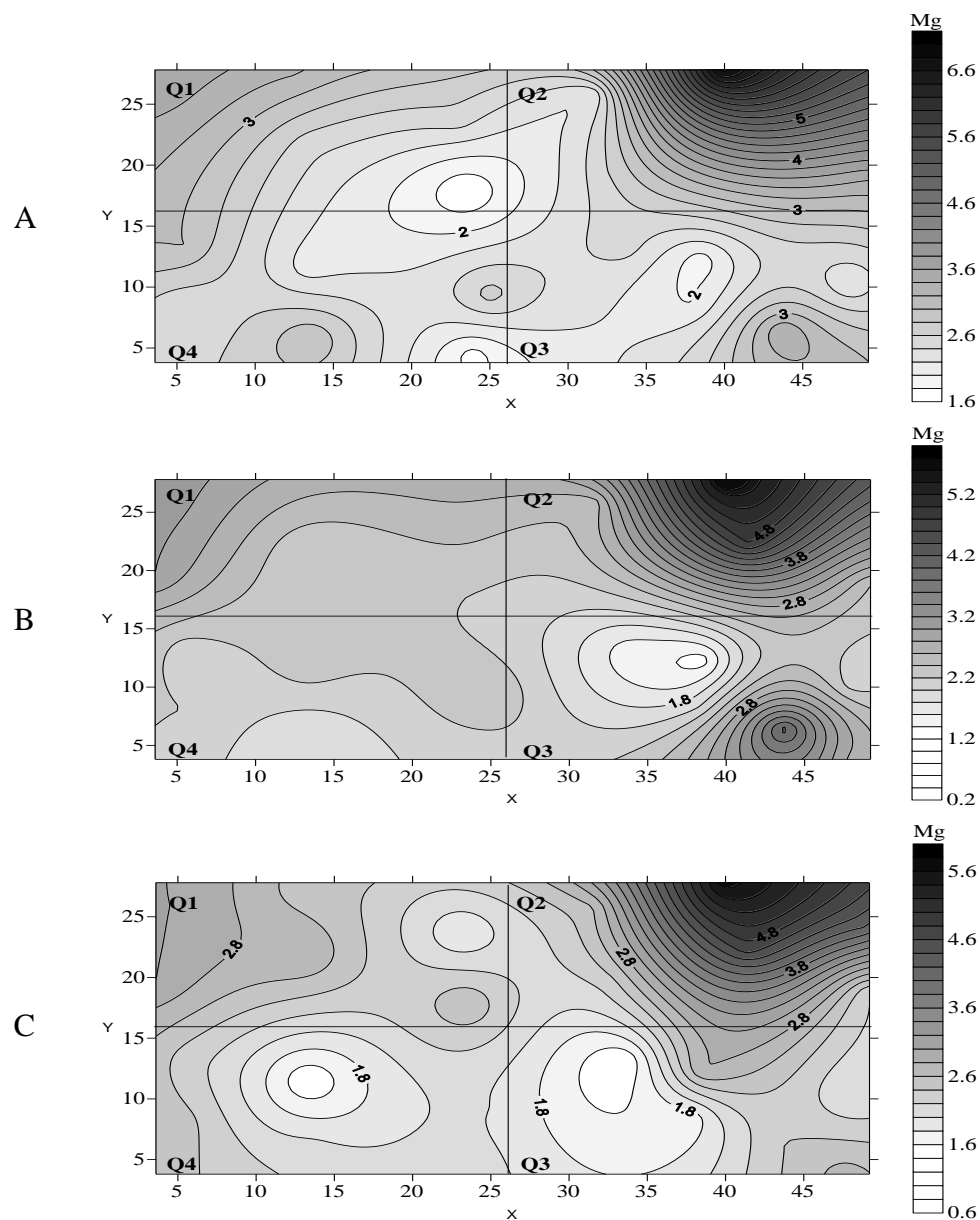


Figura 14 - Mapa temático da krigagem do atributo químico Mg^{2+} nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.

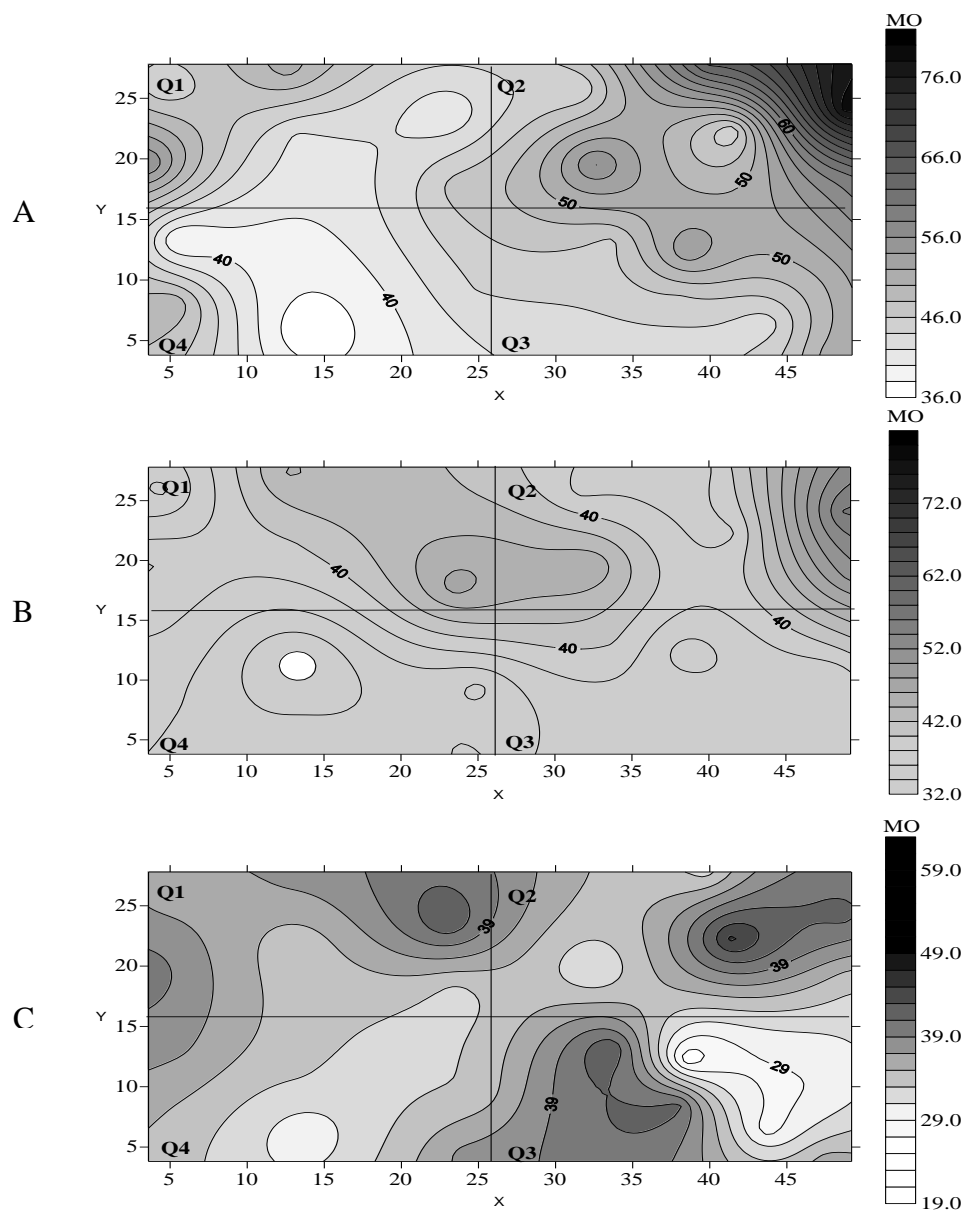


Figura 15 - Mapa temático da krigagem do atributo químico MO nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.

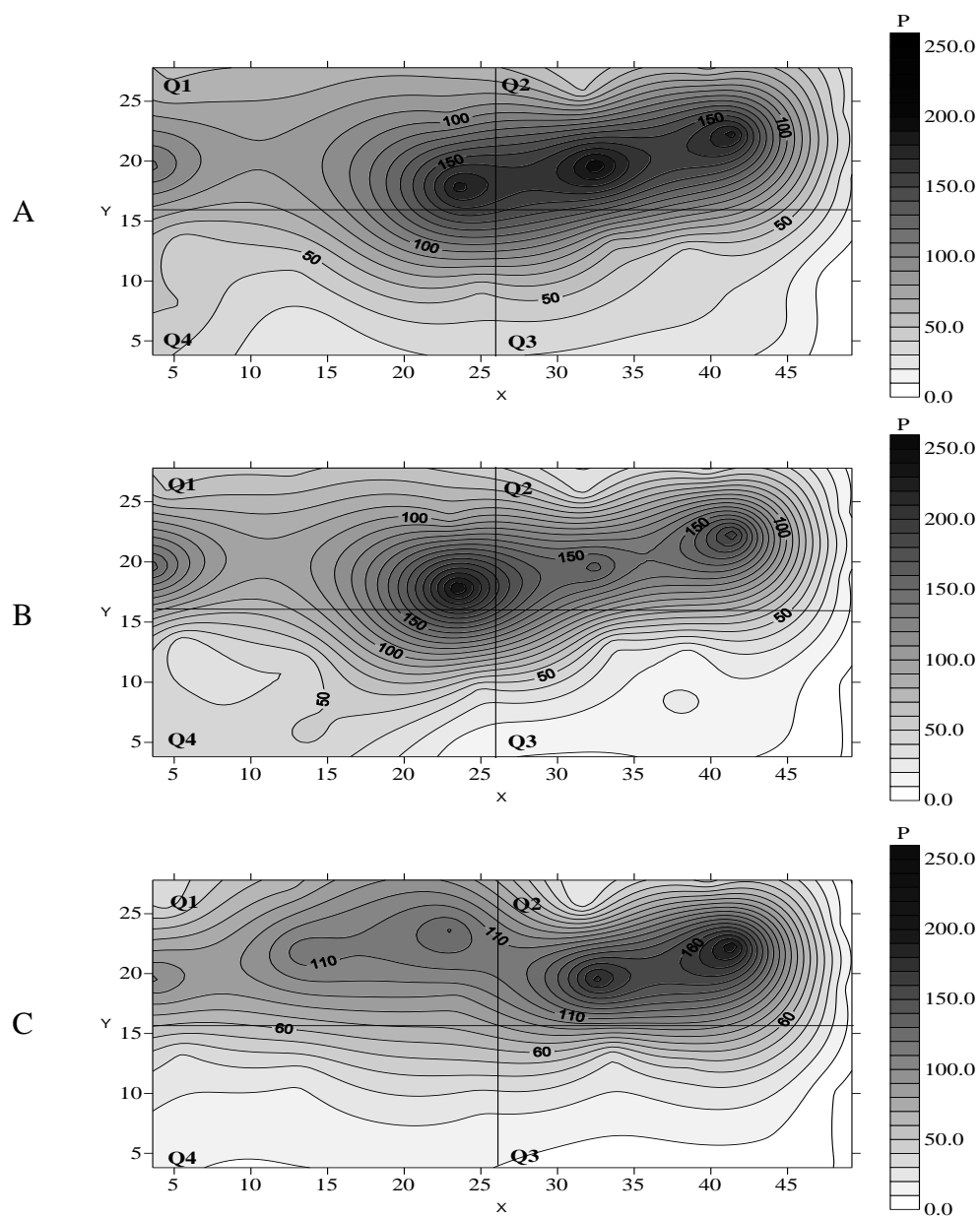


Figura 16 - Mapa temático da krigagem do atributo químico P nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.

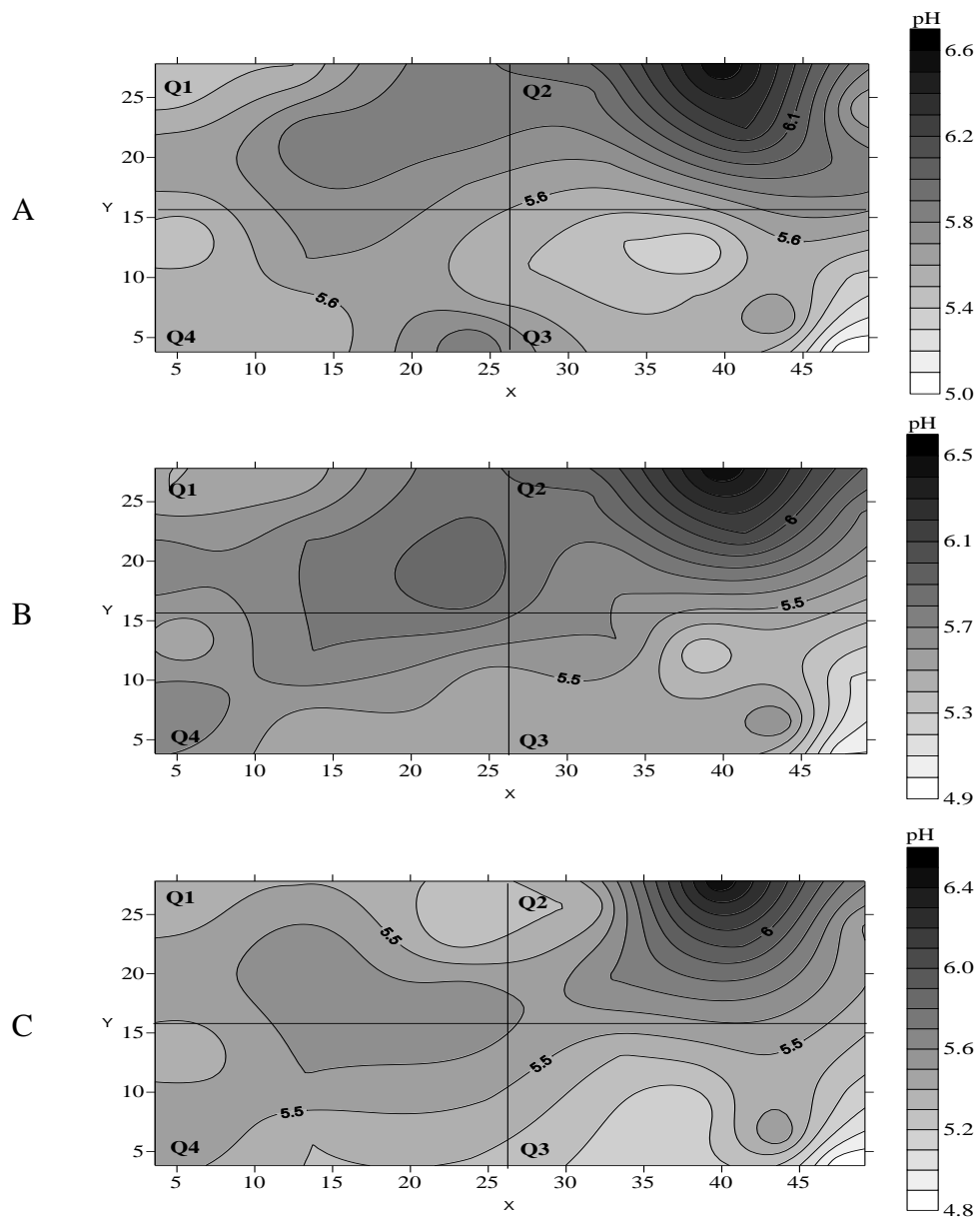


Figura 17 - Mapa temático da krigagem do atributo químico pH nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.

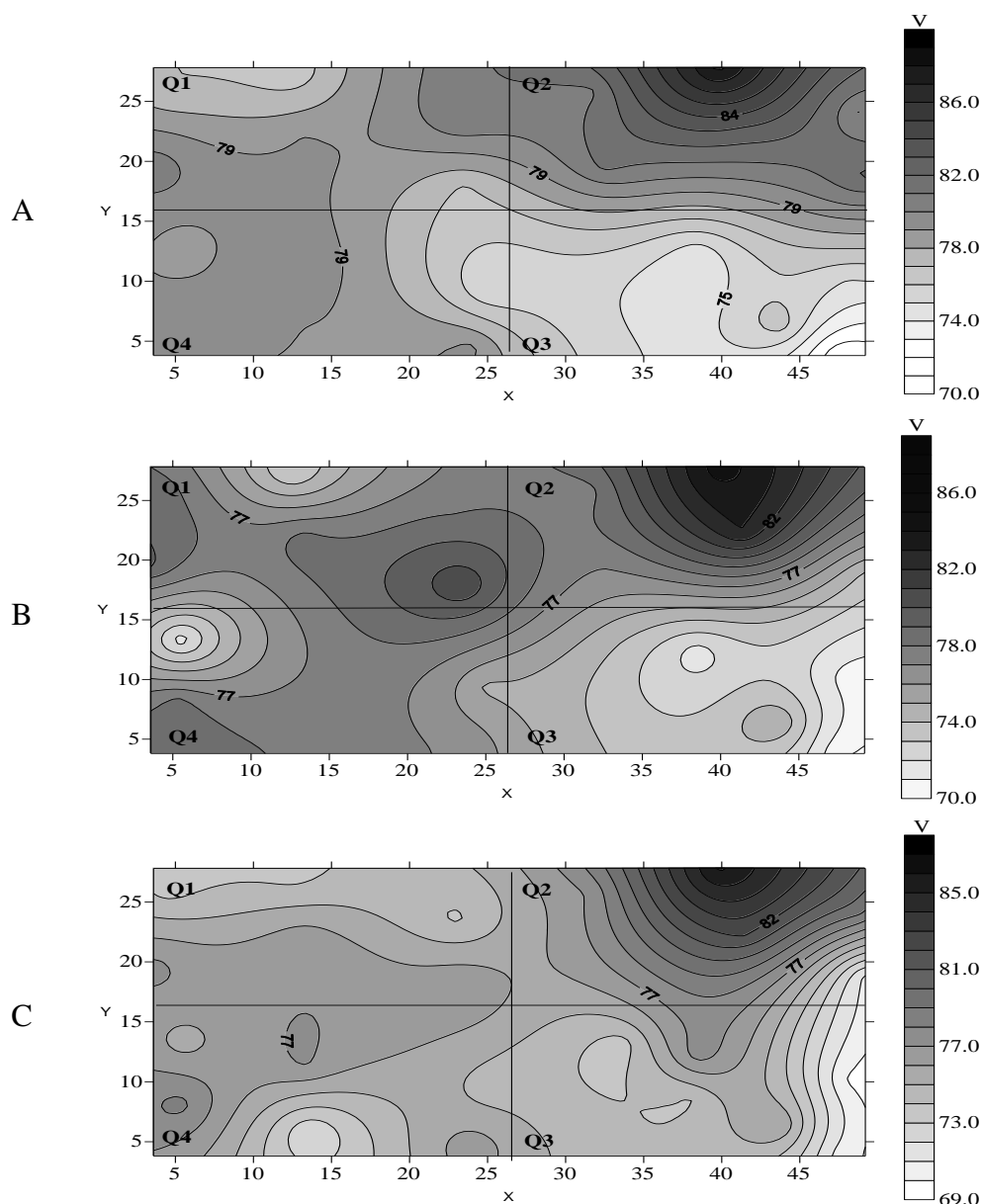


Figura 18 - Mapa temático da krigagem do atributo químico V% nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.

Os indicadores de distribuição dos valores analisados, assimetria e curtose apresentam valores não muito distantes do valor central zero, indicando que os atributos físicos são simétricos ou contem pequena assimetria (Tabela 5). Desta maneira estas variáveis físicas indicam que estão adequadas para o uso da geoestatística.

Todos os atributos físicos apresentaram distribuição simétrica ou com pequena assimetria, indicados pelo pequeno distanciamento de diferença de assimetria e curtose se destacando a densidade do solo de 0-5 cm de profundidade. Possivelmente isto pode estar atrelado

ao baixo a médio CV (WARRICK e NIELSEN., 1980) obtido para todos os atributos físicos em todas as profundidades. Esse baixo CV indica maior precisão para a dispersão relativa. Conforme afirmação de CORTEZ et al. (2011), quanto mais os valores de assimetria e curtose estão próximos de zero, maior a normalidade dos dados. Neste sentido, tais informações destes parâmetros facilitam o ajuste do semivariograma.

Observou-se que todas as variáveis físicas estudadas exibiram dependência espacial forte (Tabela 6). Os modelos de semivariogramas que se ajustaram aos atributos avaliados nas 3 profundidades foram o esférico, gaussiano e o exponencial, este último com apenas uma ocorrência. Em termos gerais, o modelo esférico ajustou-se para a maioria dos atributos físicos do solo, exceto para a porosidade total que ajustou-se aos três modelos.

Para a profundidade de 0-5 o modelo que se ajustou à porosidade total foi o esférico, de 5-10 cm o gaussiano e de 10-20 cm o exponencial. Para pesquisadores como CARVALHO et al. (2003) e CAVALCANTE et al. (2007) os modelos esféricos e exponenciais apresentam-se como os modelos teóricos mais comuns aos atributos físicos do solo. Nota-se que para o aumento da profundidade, há uma tendência de haver uma menor dependência espacial para os atributos físicos.

Para as profundidades de 0-5 e 5-10 cm, o maior alcance foi constatado para o atributo umidade do solo, indicando assim maior continuidade na distribuição espacial, ou seja, dentro do intervalo de alcance há semelhança entre os pontos onde que a partir desse alcance não há mais semelhança ou correlação espacial, não existindo dependência espacial e sim predomínio de maior variabilidade. Já os menores alcances foram constatados nas variáveis porosidade total para a profundidade de 0-5 cm, macroporosidade e microporosidade para a profundidade de 5-10 cm. Para a profundidade 10-20 destaca-se a microporosidade com o maior alcance.

Em contrapartida, o menor alcance se deu para a porosidade total. Os menores alcan- ces ditam que há menor continuidade na distribuição espacial entre os pontos, ou seja, maior heterogeneidade no terreno, a partir do alcance o comportamento espacial da variável passa a ser totalmente aleatório (LEMOS FILHO et al., 2008), predominando maior heterogeneidade, onde amostras ou pontos são tão distintos que não há semelhança entre ambos, se tornando inviável a aplicação da interpolação.

Para a macroporosidade, seu maior alcance foi na camada de 0-5 cm. Para a microporosidade, o maior alcance se deu na camada de 10-20 cm. Para o atributo porosidade total, obteve o alcance superior na camada de 5-10 cm, reduzindo aproximadamente pela metade na transição para a camada de 10-20 cm. O atributo densidade aumentou seu alcance da camada de 0-5 para 10-20 cm. Em relação à umidade, esta com maior alcance de 5-10 cm de profundidade e menor de 10-20 cm.

De modo geral, todas as variáveis obtiveram menores alcanços do que os levantados no campo, assim servindo de referência para que em estudos futuros a malha amostral estabelecida seja mais próxima, com pontos equidistantes de 5 m, tendo em vista que os alcanços obtidos para este estudo ficaram entre 5-8 m aproximadamente.

O alcance apresentou uma média para todos os atributos e todas as profundidades de 11,46 m. Contudo, essa média foi elevada pelo valor de alcance obtido para a microporosidade em 10-20 cm de profundidade, não podendo ser levado em consideração para o estabelecimento futuro de uma nova malha amostral. Esse resultado ainda indica que a malha amostral pode ser melhorada para que futuramente se obtenham resultados mais eficientes quanto às condições desses atributos do solo.

No estudo dos semivariogramas o alcance é um parâmetro importante, haja vista que indica a distância máxima em que uma variável está correlacionada espacialmente. Assim sendo, as determinações realizadas a distâncias maiores que o alcance tem distribuição

aleatória e, por essa razão, são independentes entre si, devendo ser aplicada a estatística clássica (MACHADO et al., 2007).

Nos ajustes dos modelos dos semivariogramas, obteve-se melhor coeficiente de validação cruzada para o atributo macroporosidade na profundidade de 0-5 cm. Já na profundidade de 5-10 cm, para o atributo umidade do solo e na profundidade de 10-20 cm, para a densidade. Os piores coeficientes de validação cruzada para as camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 foram para porosidade total, densidade e macroporosidade respectivamente.

O maior efeito pepita foi constatado na umidade para as profundidades de 0-5 e 5-10 cm e na porosidade total para a camada de 10-20 cm. Em contrapartida, o menor efeito pepita foi obtido para a densidade do solo.

Tabela 5 - Estatística descritiva para os atributos físicos Macrop. (macroporosidade), Microp. (microporosidade), Por. Total (porosidade total), Densidade e Umidade do solo nas três profundidades avaliadas.

Atributo	Sd	CV	Média	Mín.	Máx.	Assim.	Curt.
AG 0-5 cm							
Macrop.	4,624	14,17	32,616	22,990	41,500	-0,08	-0,71
Microp.	1,461	5,77	25,315	21,990	28,130	-0,08	-0,19
Por. Total	4,582	7,90	57,930	48,570	65,670	-0,08	-0,62
Densidade	0,130	10,44	1,252	1,0000	1,560	-0,06	0,16
Umidade	2,403	9,05	26,532	21,610	30,170	-0,13	-0,81
AG 5-10 cm							
Macrop.	4,116	12,72	32,342	24,110	39,470	-0,08	-0,52
Microp.	2,217	8,73	25,377	20,690	29,000	-0,40	-0,31
Por. Total	3,809	6,60	57,721	49,660	63,780	-0,12	-0,81
Densidade	0,123	9,48	1,296	1,120	1,520	0,25	-1,25
Umidade	2,573	9,91	25,962	20,550	29,950	-0,33	-0,71
AG 10-20 cm							
Macrop.	3,485	11,15	31,254	24,950	38,430	0,04	-0,68
Microp.	1,868	7,27	25,700	21,570	30,030	-0,08	0,66
Por. Total	4,095	7,19	56,946	48,670	66,420	0,15	-0,02
Densidade	0,138	10,54	1,315	1,090	1,620	0,14	-0,52
Umidade	2,827	10,92	25,877	20,460	31,030	0,19	-0,77

Onde: Sd: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Média: média aritmética; Mín: mínimo; Máx: máximo; Assim: assimetria; Cur: curtose.

Tabela 6 - Parâmetros geoestatísticos dos semivariogramas ajustados para os atributos físicos Macrop. (macroporosidade), Microp (microporosidade), Por. Total (porosidade total), Densidade e Umidade do solo nas três profundidades avaliadas.

Atributo	Mod.	Alc.	Ef. Pep.	G.D.E	Classe	R ²
AG 0-5 cm						
Macrop.	Esf.	7,14	0,01000	0,047	Forte	0,655
Microp.	Esf.	7,06	0,13500	6,683	Forte	0,627
Por. Total	Esf.	5,79	0,01000	0,048	Forte	0,598
Densidade	Gaus.	8,65	0,00217	13,199	Forte	0,600
Umidade	Esf.	10,92	1,00000	18,050	Forte	0,612
AG 5-10 cm						
Macrop.	Esf.	5,68	1,31000	7,567	Forte	0,554
Microp.	Esf.	5,68	0,01000	0,194	Forte	0,581
Por. Total	Gaus.	8,65	0,01000	0,069	Forte	0,702
Densidade	Esf.	6,70	0,00237	15,057	Forte	0,535
Umidade	Esf.	11,08	1,34000	19,850	Forte	0,821
AG 10-20 cm						
Macrop.	Esf.	5,68	2,03000	16,214	Forte	0,521
Microp.	Esf.	65,35	0,86000	15,140	Forte	0,624
Por. Total	Exp.	4,60	3,99000	23,512	Forte	0,679
Densidade	Esf.	10,30	0,00390	19,897	Forte	0,752
Umidade	Esf.	8,67	1,94000	23,862	Forte	0,578

Mod: modelo; Exp.: Exponencial; Esf.: Esférico e Gaus.: Gaussiano. Alc: alcance; Ef.Pep: efeito pepita; G.D.E: grau de dependência espacial; Classe: Forte, Moderada e Fraca, segundo grau de dependência espacial proposto por Cambardella e, R²: coeficiente de determinação da validação cruzada.

De modo geral os quadrantes Q2 e Q3 apresentaram a maior macroporosidade (Figura 19), microporosidade (Figura 20), porosidade total (Figura 21) e umidade do solo (Figura 22), este último somente para o Q2, seguidas de menores densidades para grande parte de Q2 e Q3, com poucas regiões apresentando valores altos para esta última variável. Para esses atributos do solo nota-se faixas com valores altos e baixos, assim há predomínio de heterogeneidade, tendo como fator explicativo o baixo alcance (Tabela 6).

A maior macroporosidade nessas regiões pode ser justificada pelo maior teor de M.O presente nestes quadrantes, como consequência uma melhor estruturação do solo oferecida pela M.O, considerando que a mesma é um dos principais componentes do solo que influenciam a formação e a estabilização de agregados (BRONICK e LAL, 2005). O mesmo

nota-se para as profundidades de 5-10 no Q3 e Q4 e na camada de 10-20 cm no Q3, possivelmente estes atrelados à menor densidade do solo nessas regiões. Em contrapartida, ainda para a camada de 10-20 cm, o Q4 com a menor macroporosidade (Figura 19), diretamente relacionada à menor quantidade de M.O (SILVA et al., 2011), bem como a maior densidade.

Pequenas faixas com a maior microporosidade refletem a heterogeneidade do terreno quanto a este atributo. O baixo alcance obtido através do modelo remete essa variabilidade, através de uma descontinuidade na distribuição espacial entre as amostras.

O predomínio dos macroporos em relação aos microporos pode ser um reflexo dos baixos teores de silte nas profundidades avaliadas (SILVA et al., 2011). Observando o comportamento espacial da densidade do solo verifica-se que seus valores favorecem a predominância de macroporos, (CAMPOS et al., 2013), ainda por ser uma área de AG que sofre pouca ação antrópica que venha contribuir para a compactação deste solo. Possivelmente os maiores valores de microporosidade em Q2 e Q3 se deve ao fato de nestes quadrantes haver maiores teores de argila assim como descreve GOMES et al., (2007).

Solos com teores de MO mais elevados possuem uma melhor estruturação (SILVA et al., 2011), nesse caso o Q2 e Q3 apresentam de modo geral a maior porosidade total, com a menor para as camadas de 5-10 e 10-20 cm, onde ocorrem menores teores de M.O. Ainda, nas regiões onde ocorrem maior porosidade total são as regiões com as menores densidades, fato também constatado por NETO et al. (2008).

Percebe-se que com o aumento da profundidade de 0-5 cm para a de 10-20 ocorre o aumento da densidade do solo e ainda aumento do alcance para este atributo. Tendo em vista o menor alcance para a camada de 5-10 cm há uma menor continuidade na distribuição espacial, podendo ser justificada pelo manejo desuniforme neste solo, através de grades e outros equipamentos agrícolas de revolvimento, tendo em vista que a área era uma horta, fato

que pode explicar faixas com maiores e menores densidades próximas, a qual reflete nas demais propriedades físicas do solo.

CECONI et al. (2007) expõe em seu trabalho que quanto maior a densidade do solo menor a porosidade total. Ainda, FERREIRA et al. (2010) confirmam que a variação nos valores de densidade do solo é em maior parte proveniente da diferença do volume total de poros, assim sendo a densidade do solo e porosidade duas propriedades muito relacionadas, assim como constatado no presente estudo.

Nas regiões de maior quantidade de MO nota-se o efeito em maior teor de umidade do solo, em especial para a profundidade de 0-5 cm no Q2, resultante da manutenção de material orgânico oriundo de restos vegetais da vegetação, contribuindo para o aumento da MO e conseqüentemente na retenção de água nas camadas do perfil do solo (FERNANDES et al., 2014). Assim, os maiores alcances foram constatados para as camadas de 0-5 e 5-10 cm de profundidade, indicando maior continuidade na distribuição espacial para esse atributo, ou seja, maior homogeneidade ao longo do alcance. Possivelmente atrelado ao fato de haver maior quantidade de MO e conseqüente retenção de água no perfil, ou ainda se não em estado de MO, em estado de deposição de serapilheira em decomposição e como superfície de barreira contra a incidência direta do sol ao solo, provavelmente é o caso do Q1, Q2 e Q4 na camada de 5-10 e Q2 e Q4 na camada de 10-20 para as maiores umidades.

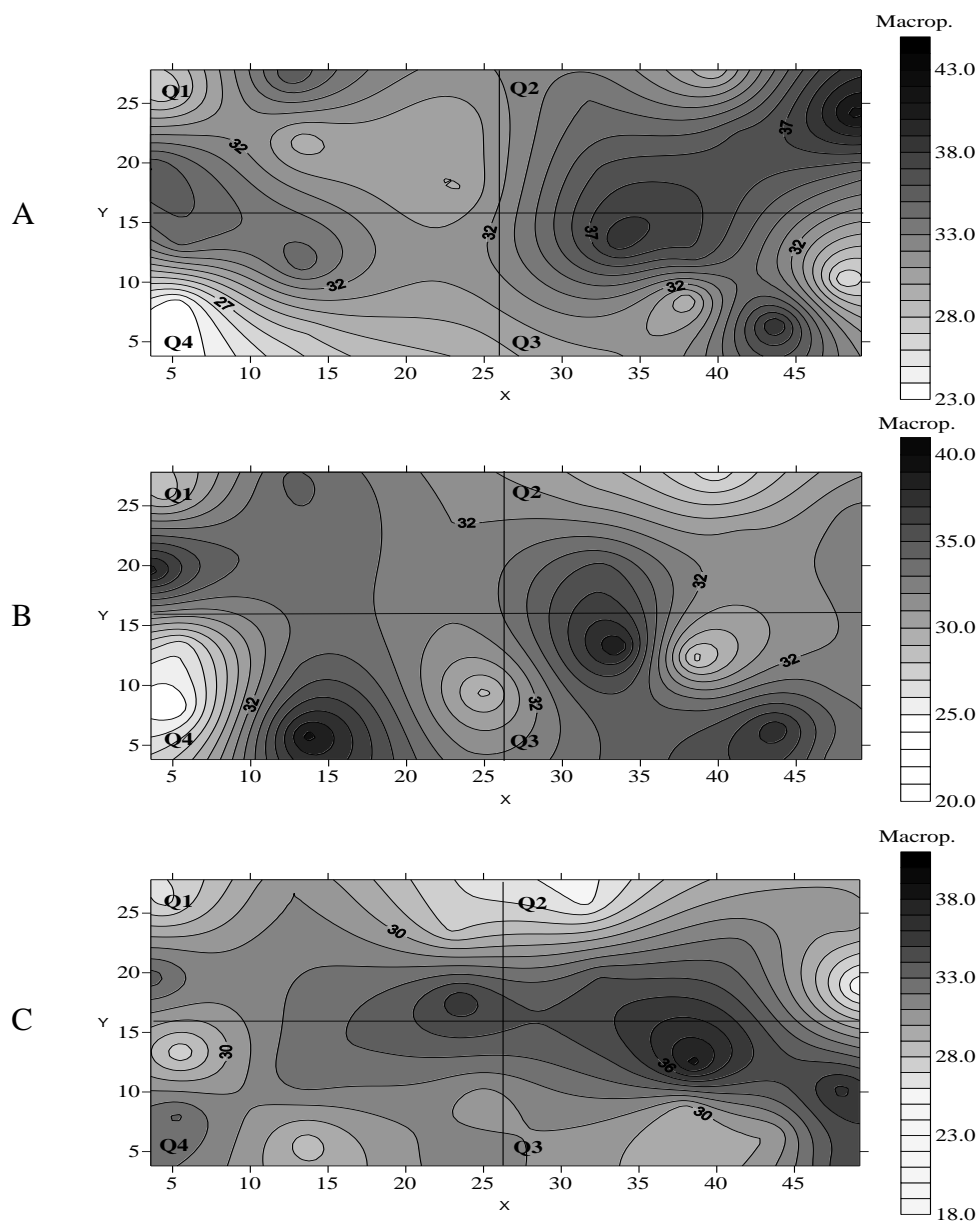


Figura 19 - Mapa temático da krigagem do atributo físico macroporosidade nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.

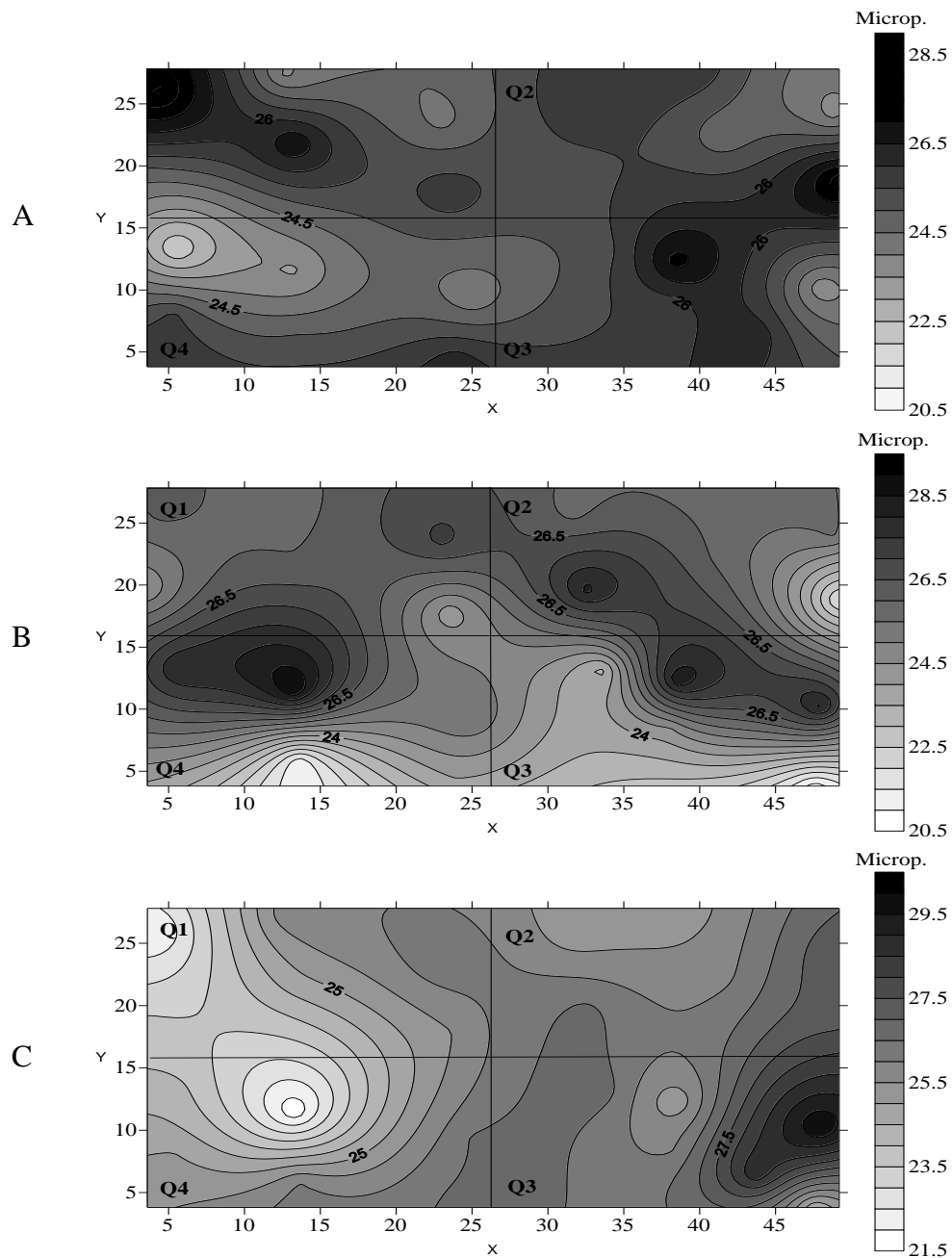


Figura 20 - Mapa temático da krigagem do atributo físico microporosidade nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.

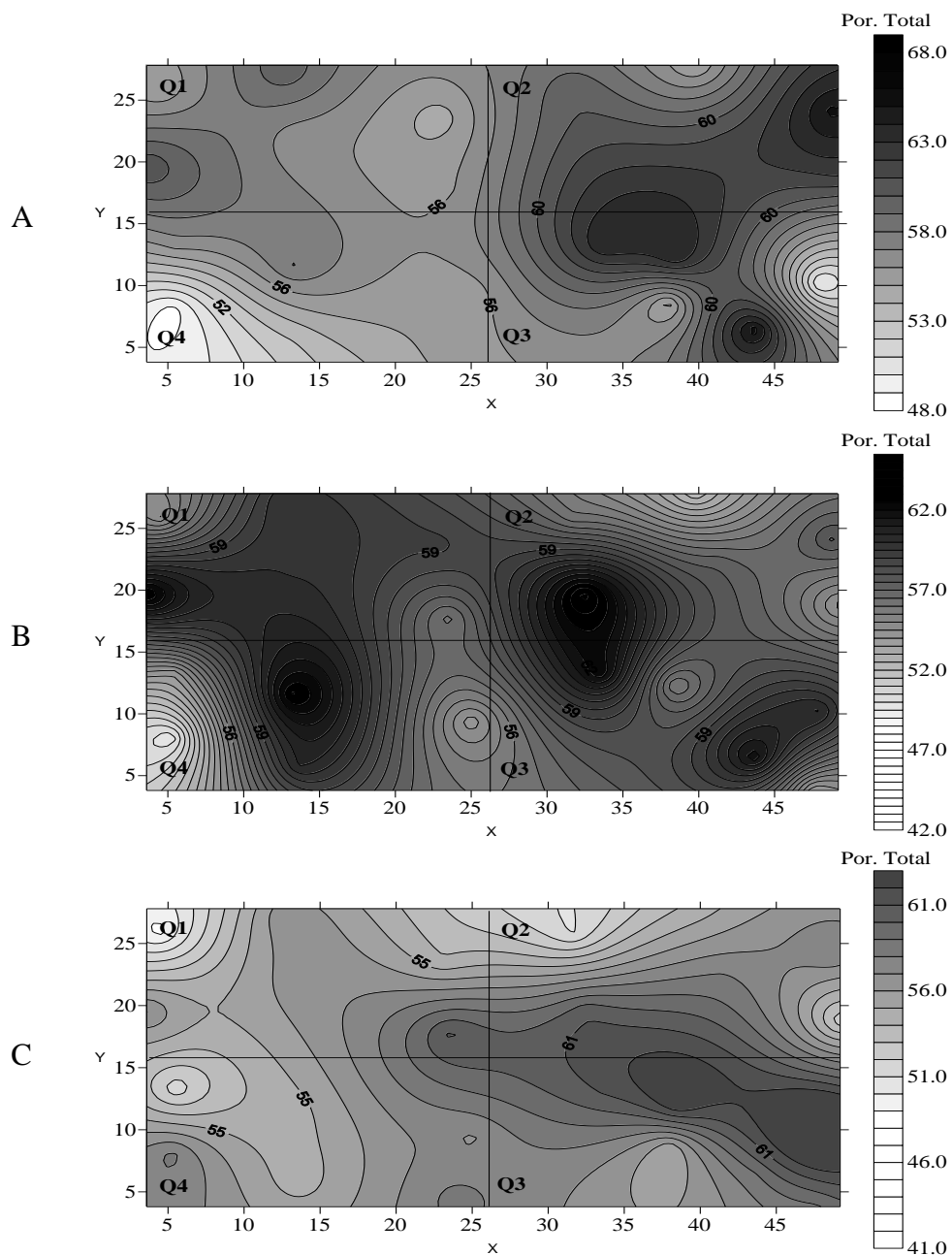


Figura 21 - Mapa temático da krigagem do atributo físico porosidade total nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.

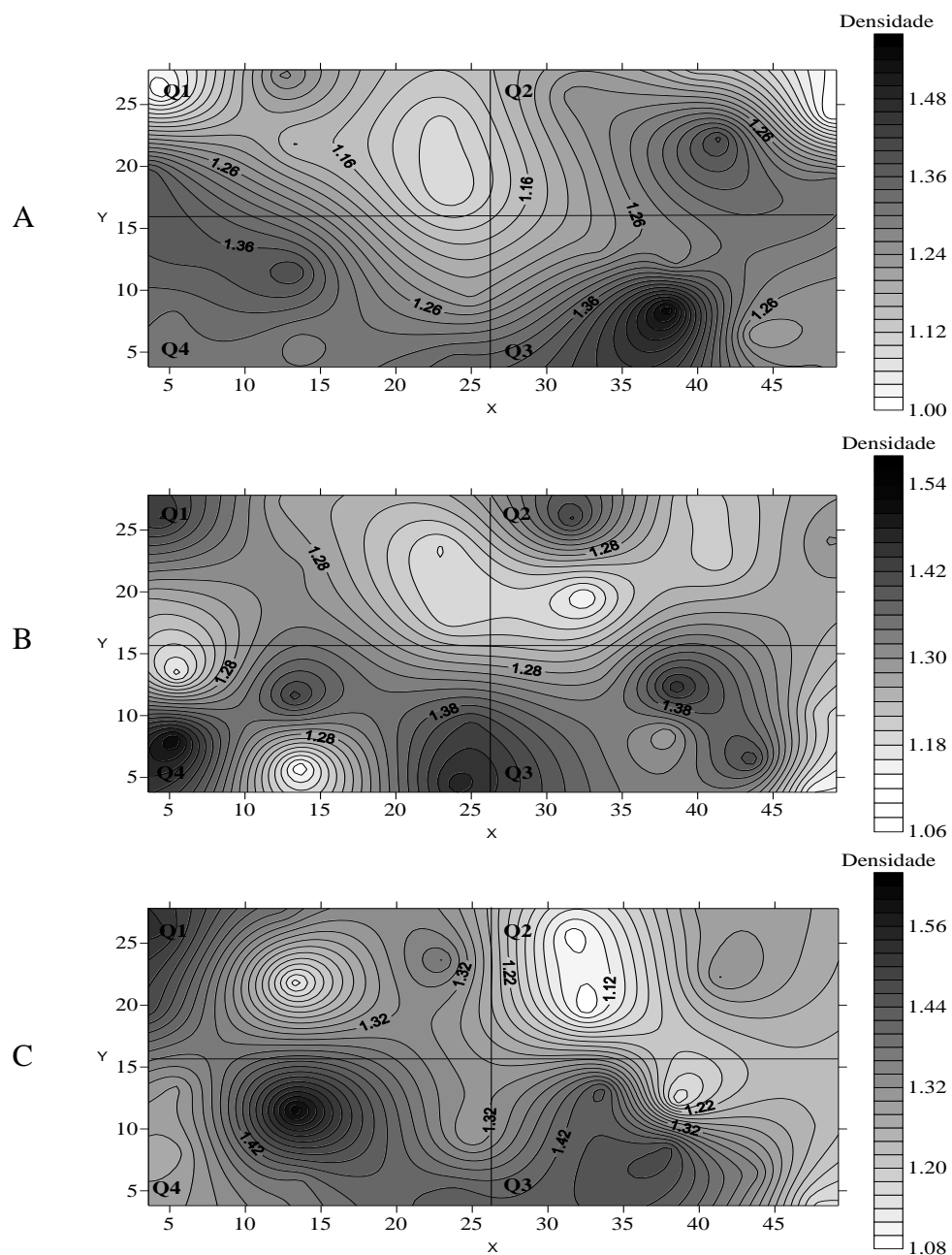


Figura 22 - Mapa temático da krigagem do atributo físico densidade nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.

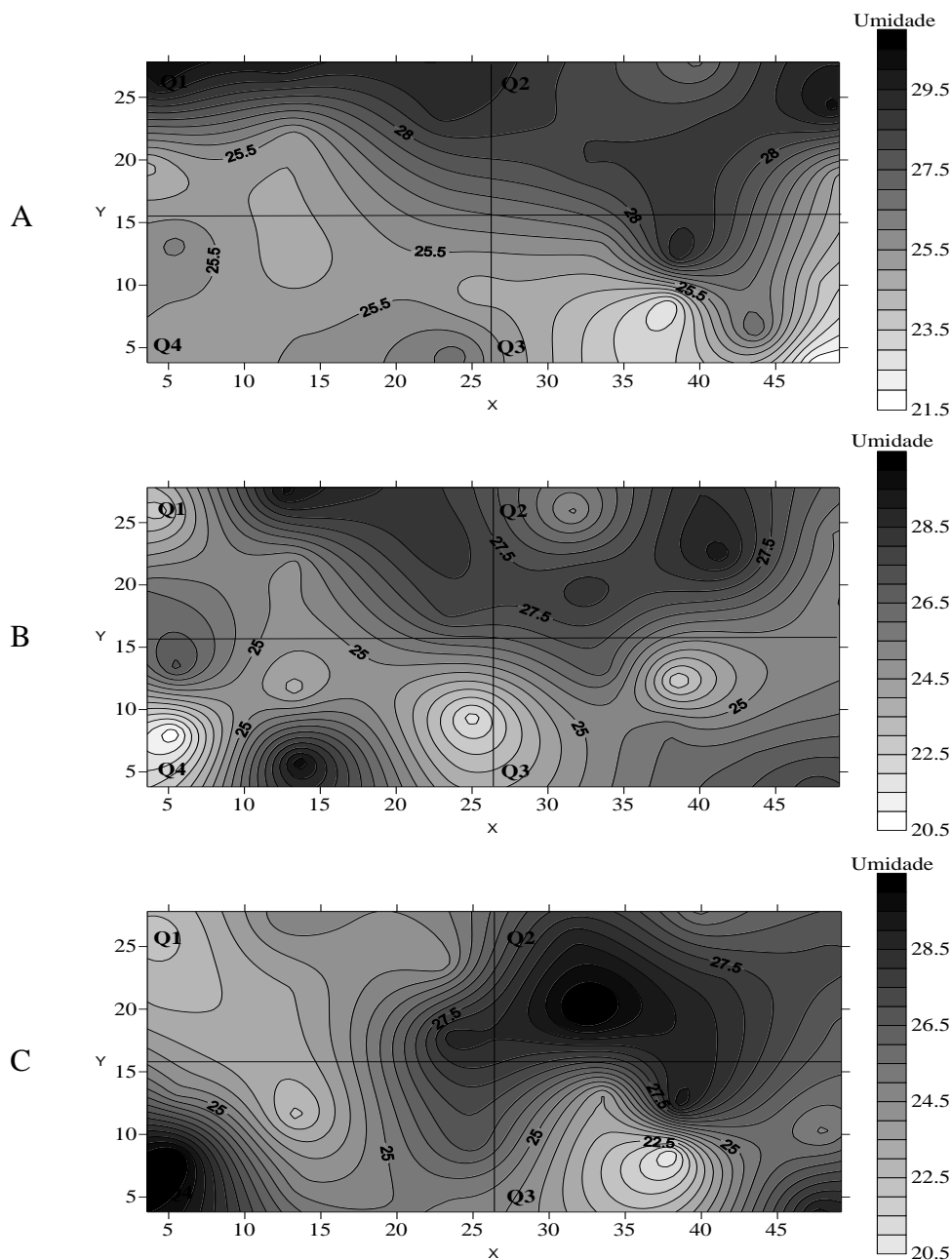


Figura 23 - Mapa temático da krigagem do atributo físico umidade nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B; 10-20 cm letra C.

Os indicadores de distribuição dos valores analisados, assimetria e curtose apresentam valores não muito distantes do valor central zero, indicando que os atributos físicos são simétricos ou contem pequena assimetria (Tabela 7). Desta maneira estas variáveis físicas indicam que estão adequadas para o emprego da geoestatística.

Todos os intervalos para esse atributo físico apresentaram distribuição simétrica ou levemente assimétrica, indicados pelo pequeno distanciamento de diferença de assimetria e curtose. Provavelmente isto pode estar ligado ao médio CV (WARRICK e NIELSEN., 1980) obtido para RP em todas as profundidades. Esse CV classificado como médio indica maior precisão para a dispersão relativa. De acordo com CORTEZ et al. (2011), quanto mais os valores de assimetria e curtose estão próximos de zero, maior será a normalidade dos dados.

Observou-se que a grande maioria dos intervalos de profundidade estudados para RP exibiram dependência espacial forte (Tabela 8). Os modelos de semivariogramas que se ajustaram ao atributo avaliado nas 3 profundidades foram o esférico em sua maior parte e o exponencial, com uma ocorrência. De forma geral, o modelo esférico ajustou-se para todos os intervalos de profundidade do solo estudado, exceto para a profundidade de 0-5 cm. Para pesquisadores como CAVALCANTE et al. (2007) os modelos esféricos e exponenciais apresentam-se como os modelos teóricos mais comuns aos atributos do solo.

Nota-se que para o aumento da profundidade de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm há uma tendência de haver um aumento no alcance para o atributo físico RP neste caso. Isso indica uma maior continuidade na distribuição espacial para esse atributo com o aumento da profundidade até 20 cm, assim não havendo outro fator afetando essa continuidade, como é o caso do manejo ou associada a características intrínsecas do solo (GREGO e VIEIRA, 2005), sendo esta última hipótese válida para as profundidades de 20-45 cm, onde ocorrem oscilações de alcance.

Assim, indicando que as profundidades iniciais do solo até 0-20 cm sofreram alterações antrópicas através do manejo que deixaram a RP dessas camadas com maior variabilidade espacial, ou seja, com uma maior descontinuidade na distribuição espacial, refletidas pelo menor alcance. As profundidades de 10-15 e 15-20 cm apresentaram a menor dependência espacial (G.D.E), classificada como moderada. Ainda, constata-se que as profundidades de 10-

15 e 20-25 cm apresentaram as maiores RP entre todas as profundidades. De modo contrário, a camada de 0-5 cm apresentou a menor RP em todas as profundidades analisadas.

A profundidade de 0-5 cm apresentou o menor alcance, servindo como reflexo do manejo aplicado nesta profundidade, o qual aumentou a descontinuidade na distribuição espacial da RP sendo esta a camada mais superficial do solo. Em contrapartida, a profundidade de 15-20 cm apresentou o maior alcance observado para esta variável, indicando assim a maior continuidade na distribuição espacial, ou seja, as amostras vizinhas apresentam semelhança ou correlação espacial entre si dentro do intervalo de alcance e, com o maior alcance a maior continuidade para a dependência espacial, expressando a menor variabilidade ao longo do perfil. Assim, todas as profundidades obtiveram maiores alcances do que as levantadas no campo, servindo como base para estudos posteriores, apresentando uma média de alcance para todas as profundidades de 28,24 metros, demonstrando a eficiência da malha amostral utilizada neste estudo.

Nos ajustes dos modelos dos semivariogramas, obteve-se melhor coeficiente de validação cruzada para o intervalo de 45-50 cm de profundidade. Os piores coeficientes foram constatados nas profundidades de 35-40, 15-20, 40-45, 25-30 em ordem crescente. Já os melhores coeficientes foram obtidos nas profundidades de 45-50 cm como já citado, 10-15, 20-25, 5-10, 0-5, 30-35 em ordem decrescente.

O maior efeito pepita para RP foi constatado na profundidade de 15-20 cm. Em contrapartida os menores valores foram observados nas camadas de 0-5, 5-10 e 20-25 cm de profundidade.

Tabela 7 - Estatística descritiva para o atributo físico resistência à penetração (RP) do solo da agrofloresta nas dez profundidades avaliadas.

RP	Sd	CV	Média	Mín.	Máx.	Assim.	Curt.
AG 0-50 cm							
0-5	0,279	25,93	1,075	0,620	1,610	0,05	-0,63
5-10	0,431	24,27	1,777	0,850	2,560	-0,10	-0,41
10-15	0,471	24,84	1,897	1,020	3,090	0,29	0,12
15-20	0,462	23,08	2,001	1,140	2,700	-0,38	-0,98
20-25	0,484	21,70	2,230	1,160	3,020	-0,30	-0,80
25-30	0,478	22,27	2,149	1,270	2,980	-0,02	-0,88
30-35	0,442	22,02	2,009	1,310	2,750	0,21	-1,14
35-40	0,395	20,47	1,933	1,340	2,710	0,42	-0,64
40-45	0,369	19,96	1,852	1,240	2,600	0,23	-0,68
45-50	0,272	15,33	1,775	1,320	2,240	0,22	-0,88

Onde: Sd: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Média: média aritmética; Mín: mínimo; Máx: máximo; Assim: assimetria; Cur: curtose. RP: expresso em Mpa.

Tabela 8 - Parâmetros geoestatísticos dos semivariogramas ajustados para as profundidades avaliadas da resistência à penetração do solo (RP) na agrofloresta.

RP	Mod.	Alc.	Ef.Pep.	G.D.E	Classe	R ²
AG 0-50 cm						
0-5	Exp.	7,80	0,00010	0,120	Forte	0,738
5-10	Esf.	24,12	0,00010	0,045	Forte	0,782
10-15	Esf.	25,96	0,07020	28,841	Moderada	0,963
15-20	Esf.	53,38	0,09610	31,591	Moderada	0,608
20-25	Esf.	26,43	0,00010	0,037	Forte	0,942
25-30	Esf.	28,12	0,06600	23,913	Forte	0,681
30-35	Esf.	20,34	0,02160	10,424	Forte	0,716
35-40	Esf.	22,05	0,02630	15,149	Forte	0,567
40-45	Esf.	22,27	0,03100	21,232	Forte	0,674
45-50	Esf.	52,00	0,01100	7,976	Forte	0,984

Mod: modelo; Exp.: Exponencial; Esf.: Esférico e Gaus.: Gaussiano. Alc: alcance; Ef. Pep: efeito pepita; G.D.E: grau de dependência espacial; Classe: segundo grau de dependência espacial proposto por Cambardella e, R²: coeficiente de determinação da validação cruzada.

Para a variável RP, nota-se o aumento desta com o aumento da profundidade (Figuras 24, 25, 26). De maneira geral, os quadrantes Q3 e Q4 apresentaram as maiores RP para as profundidades avaliadas. Já as menores RP foram constatadas em Q1 e Q2. Há um decréscimo dos valores para este atributo no intervalo de 25-30 cm até a profundidade de 45-50 cm (Figuras 26, 27 e 28).

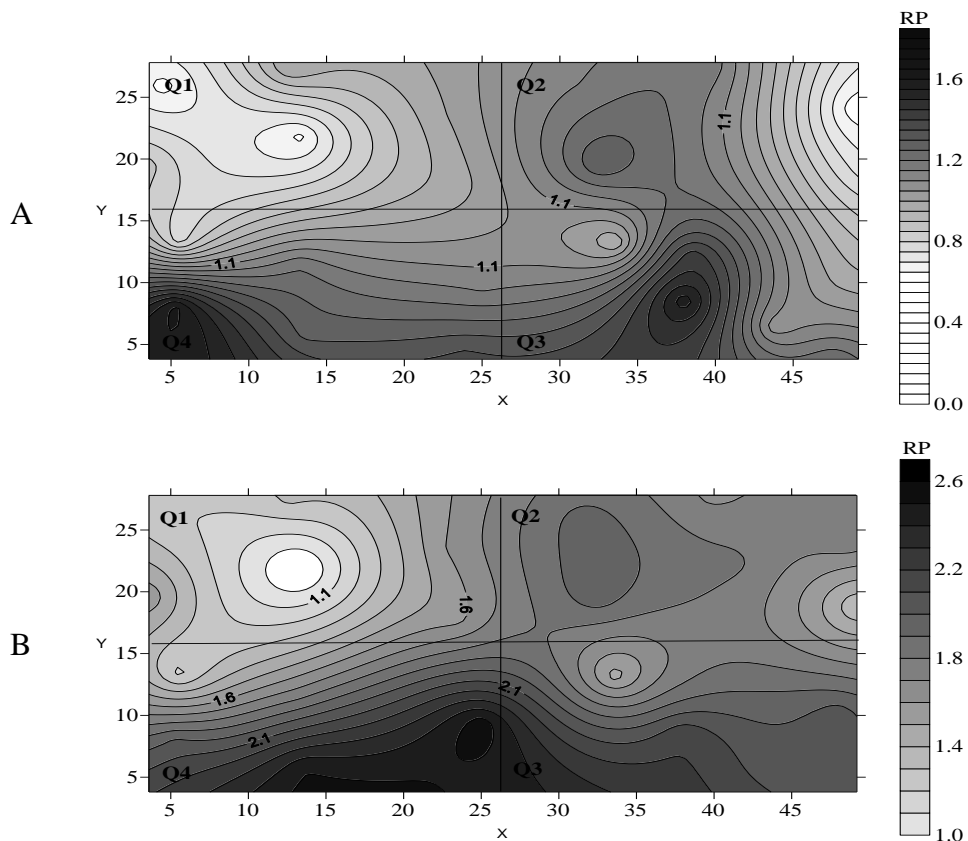


Figura 24 - Mapa temático da krigagem do atributo físico RP nas profundidades de 0-5, 5-10 cm. Onde: 0-5 cm letra A; 5-10 cm letra B.

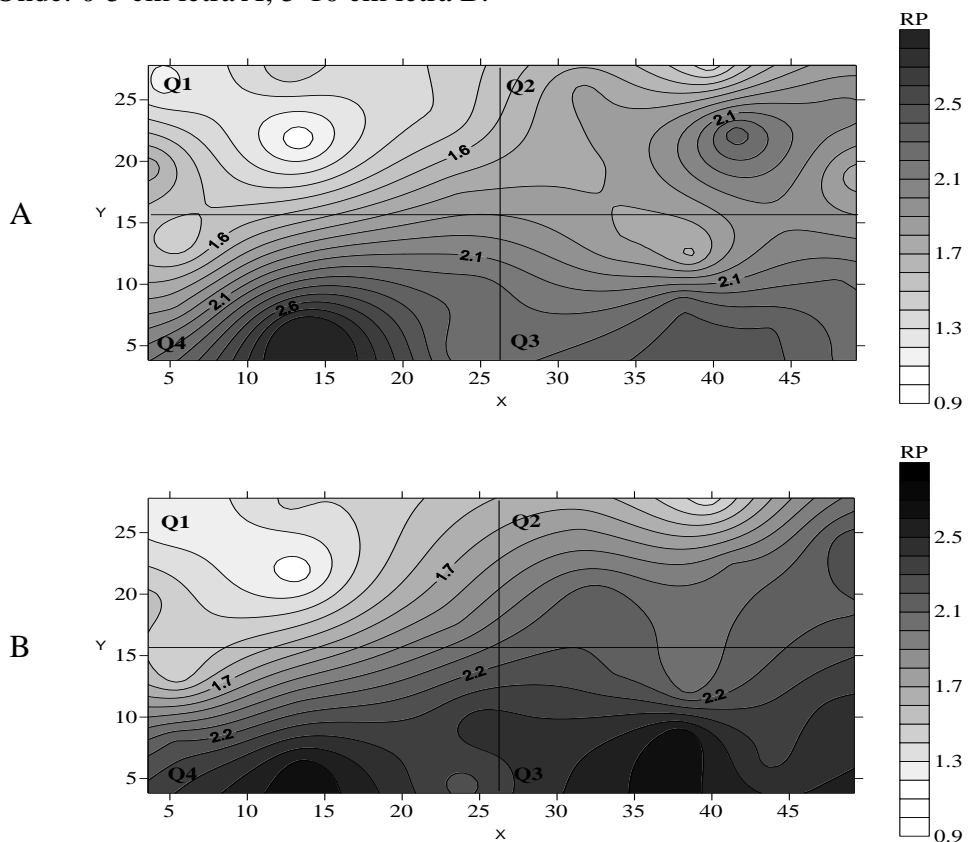


Figura 25 - Mapa temático da krigagem do atributo físico RP nas profundidades de 10-15, 15-20 cm. Onde: 10-15 cm letra A; 15-20 cm letra B.

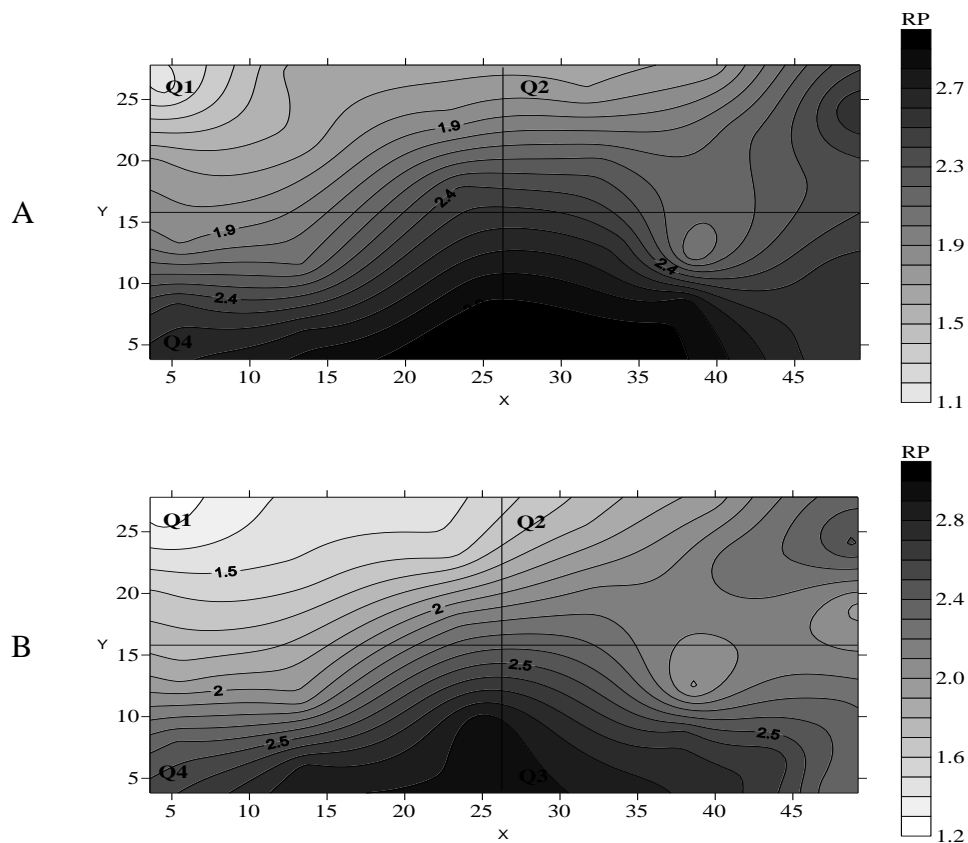


Figura 26 - Mapa temático da krigagem do atributo físico RP nas profundidades de 20-25, 25-30 cm. Onde: 20-25 cm letra A; 25-30 cm letra B.

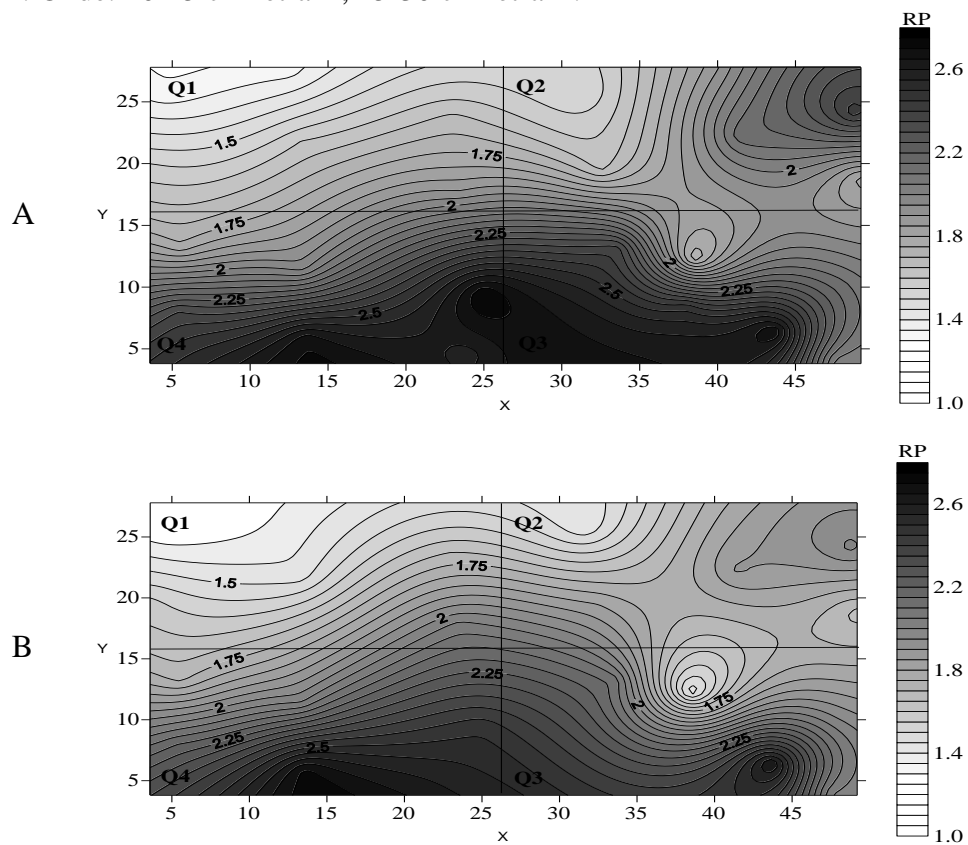


Figura 27 - Mapa temático da krigagem do atributo físico RP nas profundidades de 30-35, 35-40 cm. Onde: 30-35 cm letra A; 35-40 cm letra B.

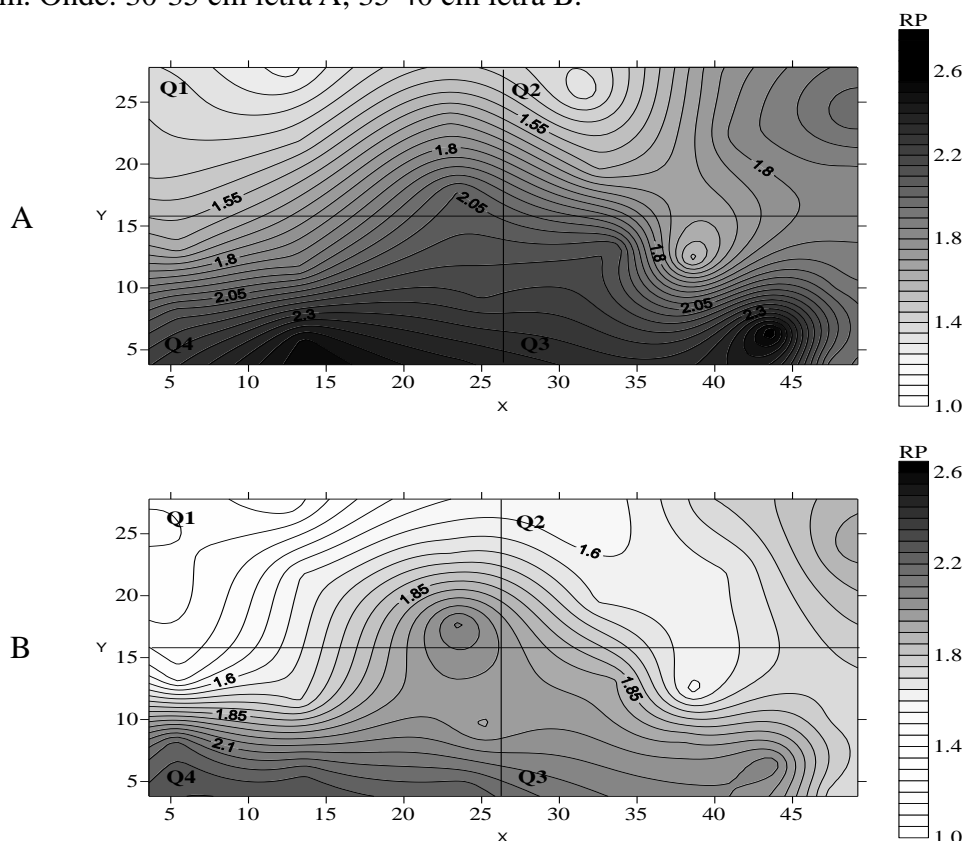


Figura 28 - Mapa temático da krigagem do atributo físico RP nas profundidades de 40-45, 45-50 cm. Onde: 40-45 cm letra A; 45-50 cm letra B.

Observando os resultados para RP percebe-se que até a camada de 20-25 cm de profundidade do solo esta aumentou expressivamente, onde as camadas iniciais de 0-5 e 5-10 cm foram as com os menores valores para este atributo. Resultados semelhantes foram constatados por CAMPOS et al. (2013), onde nas camadas iniciais do solo relata as menores RP, sendo que no intervalo de 30-45 cm de profundidade o autor descreve obter para seu estudo RP acima de 2,0 Mpa, como constatado neste estudo, valor este dentro do limite crítico utilizado de 2,0 Mpa (SERAFIM et al., 2007) e restritivo ao crescimento radicular das plantas (SILVA et al., 2002).

Possivelmente a maior RP de algumas regiões expressas no mapa são decorrentes dessas possuírem os menores teores de umidade do solo, seguidas de maior densidade,

citando como extremos as profundidades de 10-15 e 20-25 cm, tendo em vista que ambos apresentam influência sobre a RP. Em solos cujas propriedades mecânicas dependem essencialmente das forças de coesão, a RP permanece praticamente constante ao longo da profundidade. Com o aumento do teor de água, se reduz a atuação das forças de coesão entre as partículas do solo e o atrito interno, promovendo a diminuição da RP (CUNHA et al., 2002).

Ainda, nota-se uma tendência dos maiores valores de RP se concentrarem em Q3 e Q4 para todas as profundidades avaliadas. Este resultado pode estar atrelado ao fato dessas regiões apresentarem menores espécies arbóreas quando comparados com Q1 e Q2, conseqüentemente menores sistemas radiculares os quais atuam interagindo com o solo e reduzindo a RP do espaço que se encontram, bem como na contribuição da serapilheira depositada na superfície a qual contribui para a umidade, sendo outro fator que pode estar influenciando a RP nesse caso (COUTO et al., 2016).

Segundo COLLARES et al. (2008) afirmam que a RP está relacionada à umidade do solo e aumenta à medida em que o teor de água é reduzido. Da mesma maneira, STRECK et al. (2004) descrevem que a compactação do solo aumenta os valores de densidade e eleva a RP do solo. De acordo com HAMZA e ANDERSON (2005) a principal causa da compactação do solo é a intensificação do tráfego excessivo anteriormente na área, caso este que vem ao encontro com este estudo, pois a área da AG anteriormente era usada como horta, sendo conduzida através de um manejo agrícola, o qual pode ter afetado em maior grau esse atributo do solo.

Todos os índices biológicos avaliados apresentaram distribuição simétrica, indicados pelo pequeno distanciamento de diferença de assimetria e curtose (Tabela 9). Possivelmente isto pode estar atrelado ao baixo a moderado CV obtido para tal. Esse baixo ou moderado CV

indica maior precisão para a dispersão relativa. Segundo CORTEZ et al. (2011), quanto mais os valores de assimetria e curtose estão próximos de zero, maior a normalidade dos dados.

Observou-se que todos os índices biológicos estudados exibiram dependência espacial de forte à moderada. Os modelos de semivariogramas que se ajustaram aos índices foram o esférico e o exponencial. De modo geral, o modelo esférico ajustou-se para a maioria dos índices avaliados. Para pesquisadores como CARVALHO et al. (2003) os modelos esféricos e exponenciais apresentam-se como os modelos teóricos mais comuns aos índices do solo e da planta.

Obteve-se o maior alcance para o índice de Evenness, classificado com dependência espacial moderada segundo CAMBARDELLA, (1994). O maior alcance para este índice reflete a maior continuidade na distribuição espacial, ou seja, maior homogeneidade ao longo do perfil dentro desse intervalo de alcance. A partir do limite do alcance há maior heterogeneidade e não há dependência espacial, onde os valores não apresentam probabilidade de semelhança e correlação espacial entre si (MACHADO et al., 2007).

Em contrapartida, o menor alcance foi constatado para ordens edáficas, com dependência espacial forte. Esse menor alcance para ordens indica que para este índice há menor continuidade na distribuição espacial, ou seja, variabilidade mais próxima. No geral, para todos os índices obtiveram-se maiores alcances do que os levantados em campo, isso pode servir de referência para estudos futuros, indicando a eficiência da malha amostral utilizada onde se obteve uma média de alcance para todos os índices de 19,97 m.

Com os valores de alcance para cada índice se tem conhecimento da distância amostral de solo ideal para cada, bem como do número de amostras necessárias para ter um resultado mais preciso. Isso possibilita aumentar a eficiência de tempo e custos financeiros no momento das avaliações, além dos resultados mais precisos, tendo em vista que não as fará de

modo aleatório e considerando valores de variabilidade pontuais, como no caso do emprego do CV e média para alguns estudos de solo.

Nos ajustes dos modelos nos semivariogramas, obteve-se melhor coeficiente de validação cruzada para o índice de Shannon. Os piores coeficientes obtidos foram para ordens e indivíduos. O maior efeito pepita foi constatado no número de indivíduos, em contrapartida, o menor foi obtido para o índice de Simpson.

Tabela 9 - Estatística descritiva para os índices biológicos do solo na agrofloresta: Indivíduos (n°), Ordens (n°), Shannon, Simpson, Equabilidade de Evenness e Respiração microbiana acumulada (CO₂).

Variável	Sd	CV	Média	Mín.	Máx.	Assim.	Curt.
AG 0-10 cm							
Indivíduos	65,552	54,26	120,791	43,000	296,000	1,03	0,97
Ordens	1,612	21,26	7,583	5,000	12,000	1,15	1,20
Shannon	0,220	15,81	1,391	0,930	1,780	-0,61	0,05
Simpson	0,110	16,52	0,666	0,430	0,780	-1,12	-0,02
Evenness	0,128	23,18	0,55	0,350	0,900	0,64	0,46
CO ₂	33,501	16,58	201,941	133,900	243,900	-0,50	-0,77

Onde: SD: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Média: média aritmética; Min: mínimo; Max: máximo; Assim: assimetria; Cur: curtose.

Tabela 10 - Parâmetros geoestatísticos dos semivariogramas ajustados para os índices Indivíduos (n°), Ordens (n°), Shannon, Simpson, Equabilidade de Evenness e Respiração microbiana acumulada (CO₂).

Variável	Mod.	Alc.	Ef . Pep.	G.D.E	CLASSE	R ²
AG 0-10 cm						
Indivíduos	Esf.	14,57	70,00000	1,770	Forte	0,652
Ordens	Esf.	8,67	0,53600	20,341	Forte	0,430
Shannon	Esf.	25,67	0,02010	35,828	Moderada	0,998
Simpson	Esf.	15,17	0,00246	18,750	Forte	0,781
Evenness	Exp.	35,46	0,00875	35,000	Moderada	0,965
CO ₂	Esf.	20,30	1,00000	0,0816	Forte	0,941

Mod: modelo; Alc: alcance; Ef.Pep: efeito pepita; G.D.E: grau de dependência espacial; Classe: segundo grau de dependência espacial proposto por Cambardella e, R²: coeficiente de determinação da validação cruzada.

Em relação ao número de indivíduos, ordens e Shannon, o maior número de indivíduos foi observado no Q4 (Figura 29), aproximadamente na região central da área de estudo. Para as ordens, o maior número também foi obtido no Q4. Ainda, o maior índice de diversidade de Shannon nesse quadrante.

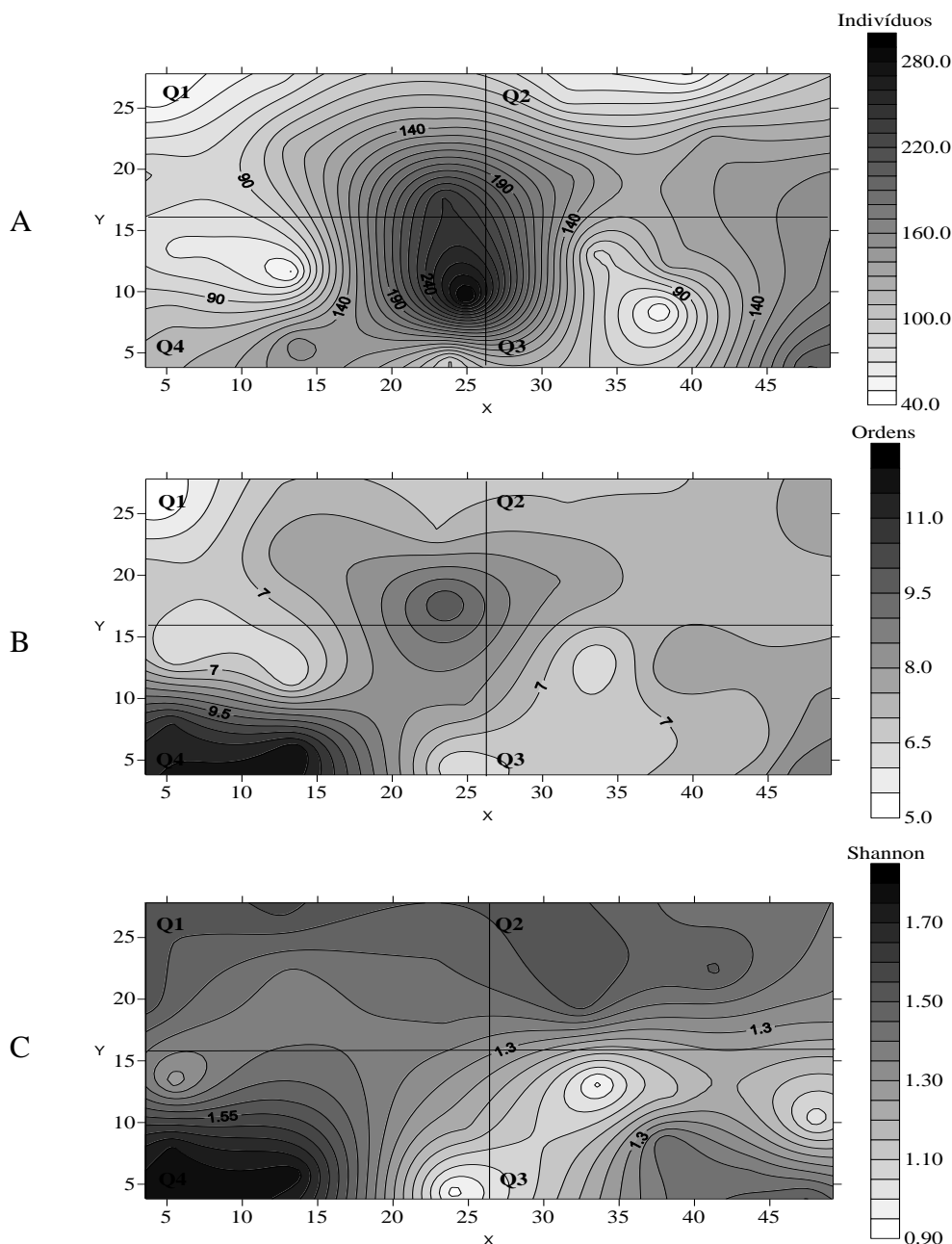


Figura 29 - Mapa temático da krigagem dos índices biológicos Indivíduos, Ordens e Shannon na profundidade de 0-10 cm. Onde: Indivíduos letra A, Ordens letra B e Shannon Letra C.

Para os índices Simpson, Evenness e CO_2 constata-se o maior índice de Simpson no Q1, Q2 e Q4 (Figura 30). Para Evenness maior índice em Q1. Quanto à respiração microbiana

acumulada (CO_2) também apresentou as maiores taxas no Q1 e Q2. De forma geral, o Q3 apresentou o menor número de indivíduos, ordens, diversidade de Shannon e de Simpson, equabilidade (Evenness) e CO_2 , sendo assim o quadrante com a menor riqueza e diversidade biológica constatada neste estudo.

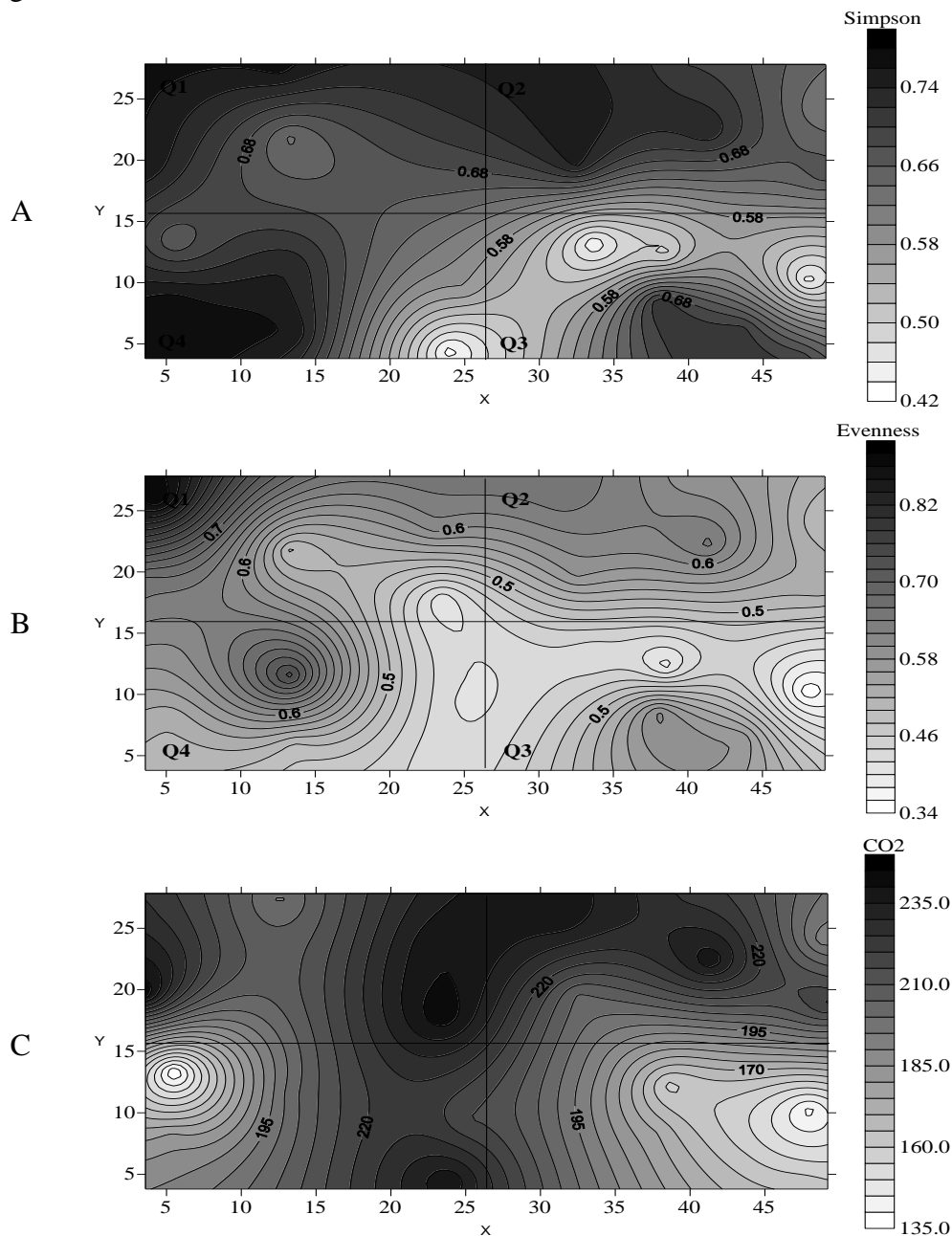


Figura 30 - Mapa temático da krigagem dos Índices biológicos Simpson, Evenness e CO_2 na profundidade de 0-10 cm. Onde: Simpson letra A, Evenness letra B e CO_2 letra C.

Em densidade de indivíduos, os maiores níveis taxonômicos observados na AG foram em Q1: Coleóptera (17,9%), Collêmbola (35,3%), Díptera (18,3%) e Hymenoptera

(22,5%); em Q2: Coleóptera (23,5%), Collêmbola (20,0%), Díptera (19,5%) e Hymenoptera (30,1%); em Q3: Coleóptera (12,2%), Collêmbola (23,3%), Díptera (12,9%) e Hymenoptera (43,2%); em Q4: Coleóptera (15,6%), Collêmbola (16,5%), Díptera (30,0%) e Hymenoptera (25,7%). Assim, a maior densidade de indivíduos observada no Q3 é consequente do predomínio da ordem Hymenoptera, sendo este relacionado com a menor quantidade de MO e umidade do solo, bem como CTC, Mg^{2+} , P, SB e V%, indicando uma área mais degradada que está passando por um processo de recuperação (BARETTA et al., 2003).

O maior número de indivíduos predominante em Q4 pode estar ligado ao fato de maior deposição de material em decomposição como folhas e galhos oriundos das espécies vegetais ocorrentes no AG. Assim, em virtude do ambiente coberto e do manejo com a poda e roçada que promovem melhores condições climáticas e de disponibilidade de alimentos.

Ainda, a porosidade total pode ter influência sobre os indivíduos, como afirmam TARRÁ et al (2012), que há significativa correlação entre os decompositores da macrofauna e o volume dos macroporos do solo para a profundidade de 0-15 cm, como constatado neste estudo onde predominam faixas entre os maiores valores para porosidade total na camada de 0-5 cm no Q4. Isso pode indicar uma estreita relação possível entre a taxa de componentes desse grupo funcional e a biogênese dos macroporos do solo.

A ocorrência de formigas foi elevada, especialmente no quadrante Q3, provavelmente em virtude do ambiente coberto e do manejo com a poda e roçada que promovem melhores condições climáticas e de disponibilidade de alimentos. Esses grupos são chamados de “engenheiros do ecossistema”, em razão de seus efeitos sobre a estruturação do solo, com criação de estruturas biogênicas, que podem ser galerias, câmaras e bolotas fecais, e que podem afetar significativamente propriedades físicas dos solos, bem como a disponibilidade de recursos para outros organismos (WOLTERS, 2000; ANDERSON, 2009).

Alguns autores admitem que a diversidade da estrutura da cobertura vegetal pode influenciar a variabilidade da distribuição de comunidades de Collêmbolos edáficos (SAUTTER et al., 1998; CHAUVAT et al., 2003; PONGE et al., 2003). LORANGER et al. (1999) constataram redução na população e na riqueza de espécies de Collêmbolos, em sítios que perderam a cobertura vegetal. Caso este observado no presente estudo, pois, nota-se no Q1 uma maior porcentagem de Collêmbolos, seguido do Q3, Q2 e Q4, percentual decrescente respectivamente, resultado possivelmente atrelado à diversidade da cobertura vegetal presente. Embora Collêmbola seja um grupo ubíquo, pouco se sabe sobre a abundância de famílias no Brasil (ZEPPELINI FILHO e BELLINI., 2004).

Dentre os grupos encontrados, destacaram-se o Collêmbola e Hymenoptera. Estudos envolvendo ácaros (Acarina), Collêmbolos (Collêmbola) e formigas (Hymenoptera), em diferentes agroecossistemas têm demonstrado grande relevância destes organismos edáficos como indicadores ecológicos de perturbações ambientais, sendo as formigas mais frequentes, especialmente durante o processo de recuperação de áreas degradadas (ANDERSEN et al., 2002, BARETTA et al., 2003).

Esses resultados estão de acordo com KITAMURA et al. (2008) os quais afirmam que o grupo Hymenoptera (formigas) são indicadores de estresse, porque colonizam áreas quando estas não apresentam condições adequadas de sobrevivência, como constatado no presente estudo (Q3: 43,2 %), sendo uma das regiões com o menor teor de MO, fator possivelmente ligado as condições de estresse à fauna edáfica (POGGIANI et al., 1996).

Os Collêmbolos pertencem à classe Insecta, subclasse Apterygota e representam organismos que integram a maior população da mesofauna edáfica (COLEMAN e CROSSLEY JR., 1995). A alimentação dos Collêmbolos é constituída, principalmente, de fungos ou resíduos vegetais (COLEMAN e CROSSLEY., 1995, LAVELLE., 1996) e, ainda, constituem importante fonte de alimento para outros organismos predadores, como aranhas, Coleópteros.

Além disso, por causa da abundância no solo e sensibilidade a condições ambientais, os Collêmbolos são considerados indicadores das condições biológicas do solo (DAMÉ et al. 1996).

O maior número de ordens foi observado no Q4. Esse resultado vai ao encontro com os resultados obtidos para dominância, Shannon, Simpson onde há menor dominância, maior índice de diversidade de Shannon e Simpson para este quadrante. Possivelmente o maior número de ordens se deva ao fato do Q4 estar em equilíbrio ou próximo dele e sofrer menores interferências em relação aos demais quadrantes, como afirmam WARREN e ZOU. (2002).; ROSA et al. (2015), que a diversidade vegetal oferece distintos recursos alimentares e influenciam na qualidade e quantidade da serapilheira consumida pela fauna do solo, controlando assim o índice de abundância dos organismos no local. Outro fator que pode ter contribuído para esse resultado é a maior umidade presente no Q4 na profundidade de 10-20, proporcionando uma condição edafoclimática mais favorável para as Ordens (BARETTA, 2006).

A maior dominância em Q3 (indicada pelos menores valores para o índice de Simpson) pode ser devido ao fato do predomínio do maior percentual de Hymenoptera constatada nesse quadrante. Essa ordem pode ter sido favorecida pela presença mais diversificada de resíduo vegetal, que constitui uma de suas principais fontes de alimento (ANDERSON, 2009).

Para o índice de diversidade de Shannon, o maior índice no Q4 pode estar ligado aos resíduos vegetais como afirmam LAVELLE et al. (1992) e LAVELLE . (1996), que a diversidade da fauna edáfica está relacionada com a grande variedade de condições que o sistema solo-serapilheira oferece. Sabe-se que, quanto mais diversa for a cobertura vegetal, maior será a heterogeneidade da serapilheira, que apresentará maior diversidade das comunidades de fauna (CORREIA e ANDRADE., 1999), (LIMA et al., 2010).

LAVELLE e SPAIN (2001) relatam que um ganho em diversidade de invertebrados edáficos resulta na produção de estruturas essenciais para a conservação e dinâmica da MO no solo, ciclagem de nutrientes e manutenção de propriedades físicas essenciais para a sustentabilidade da produção primária. Assim, áreas com baixa presença de organismos edáficos, como ocorre em solos perturbados, desprotegidos e com pouca cobertura de solo, são prejudiciais à manutenção do equilíbrio e da qualidade do solo.

Para o índice de Simpson, há menor dominância no Q1, Q2 e Q4, constatada pelos maiores valores, onde valores mais próximos de 1 representam maior diversidade edáfica. Esse resultado pode estar atrelado à porosidade total, sendo que esta pode ter influência sobre os indivíduos, como afirmam TARRÁ et al. (2012), que há significativa correlação entre os decompositores da macrofauna e este atributo. Outro fator que pode estar ligado à menor dominância em Q1, Q2 e Q4 é a presença de nutrientes no solo, como o Ca^{2+} , por exemplo, que também é importante para diversos invertebrados, pois fisiologicamente esse cátion tem relação com vários mecanismos de regulação osmótica (ROSA et al., 2015), onde estes quadrantes apresentam as maiores quantidades, atraindo maior diversidade de invertebrados.

Para a equabilidade (padrão de distribuição dos indivíduos entre as espécies) através do índice de Evenness houve predomínio dos maiores valores em Q1. Onde cabe lembrar que o índice de Evenness varia de 0-1, sendo que quanto maior o índice maior será a diversidade e menor a dominância por poucos grupos. Nesse caso, constata-se valores próximos a 0,9, o que indica maior diversidade, não havendo dominância por determinados grupos específicos, ou seja, todos os grupos são igualmente abundantes entre si. Os resultados obtidos neste estudo foram superiores aos relatados por ABREU et al. (2014), de 0,66 a 0,78 em área cultivada com cana-de-açúcar. Os maiores índices de equabilidade geralmente são frequentes em áreas onde se mantem a cobertura do solo (PASQUALIN et al., 2012).

Já para a respiração microbiana acumulada (CO_2), houve predomínio dos maiores valores no Q1 e Q2. ALVES et al. (2011) verificando a influência dos diversos sistemas na atividade microbiana não observaram diferenças em relação à respiração basal do solo nos seguintes tipos de manejo: integração lavoura-agropecuária, vegetação nativa em recuperação e vegetação nativa, caso contrário aos resultados obtidos neste estudo, onde verifica-se diferença para respiração basal nos diferentes quadrantes da AG.

Segundo MONTEIRO et al. (2004), a respiração acumulada correlacionou-se negativamente com o teor de polifenol, com as relações C:N, lignina/N, lignina + polifenol/N, polifenol/N, lignina + celulose/N e positivamente com o CBM. Estes resultados demonstram que, nas estruturas de serapilheira de maior nível de recalcitrância, o metabolismo microbiano é mais lento. Conforme HARBONE (1997), a eficiência de utilização pela biomassa microbiana de frações de rápida (açúcares) e lenta decomposição (celulose) e de frações recalcitrantes (polifenóis condensados e lignina) está na ordem de 60, 40 e 10 %, sucessivamente.

Esses resultados vêm ao encontro dos obtidos neste estudo, onde que a maior respiração microbiana acumulada possivelmente está correlacionada ao maior percentual de bananeiras presentes em Q1 e Q2, com 77,15 e 69,6 % dos indivíduos respectivamente, tendo em vista uma fração de decomposição mais rápida. Q3 e Q4 apresentam 26,73 e 31,74 % de bananeiras entre os indivíduos, apresentando assim maior número de espécies de lenta decomposição e de frações recalcitrantes, possivelmente explicando a menor respiração microbiana nesses quadrantes.

Os estados fisiológicos das células microbianas influenciam na respiração basal do solo, assim como a umidade, a temperatura, a estrutura do solo, a textura, a quantidade de MO, dentre outros (SILVA et al., 2010).

3.6 CONCLUSÕES

A ferramenta geoestatística apresentou capacidade e eficiência em diagnosticar a variabilidade espacial das variáveis químicas, físicas e biológicas em solo sob agrofloresta;

O espaçamento usado na malha amostral foi suficiente para caracterizar a variabilidade espacial, exceto para alguns atributos físicos;

Os maiores alcances foram obtidos para o atributo físico do solo resistência à penetração, química do solo, biologia e atributos físicos em ordem decrescente. Isso se justifica pelo menor grau de interferência antrópica sobre o atributo resistência à penetração quando comparado aos demais atributos que sofreram maior ação, esta refletida pelos menores alcances, ou seja, menor continuidade na distribuição espacial;

Todas as variáveis estudadas apresentaram estrutura de dependência espacial, o que permitiu o seu mapeamento, utilizando-se técnicas geoestatísticas;

Os atributos do solo apresentaram mapas de krigagem com comportamento espacial diferente, evidenciando assim a eficiência da ferramenta para área;

A grande amplitude de variação dos atributos químicos justifica a aplicação diferenciada e localizada de fertilizantes;

Estas informações podem viabilizar o trabalho em campo, uma vez que vários estudos de amostragem têm sido conduzidos visando reduzir a variabilidade das características do solo. Ainda, com a amostragem precisa da área, aplicar as quantidades necessárias de acordo com a necessidade de cada elemento, minimizando assim os custos para produção da cultura.

3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, CA; STAPE, JL; SENTELHAS, PC; GONÇALVES, JLM; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p. 711-728, 2013.

ALVES, T. D. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.

ABREU, R.R.L. et al. Fauna edáfica sobre diferentes níveis de palhada em cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p. 409-416, 2014.

AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R. F. D.; ASSIS JUNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 415-422, 2007.

ANDERSEN, A.N.; HOFFMANN, B.D.; MÜLLER, W.J.; GRIFFITHS, A.D. Using ants as bioindicators in land management: simplifying assessment of ant community responses. **Journal of Applied Ecology**, v.39, n.1, p.8-17, 2002.

ANDERSON, J.M. Why should we care about soil fauna?. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.8, p.835-842, 2009.

AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; OLIVEIRA, I. A.; MANTOVANELI, B. C.; SOARES, M. D. R. Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em Latossolo sob floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 397-406, 2014.

BRONICK, C.J. e LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, v.124, n.1-2, p.3-22, 2005.

BÜLL, L. T. e NAKAGAWA, J. Desenvolvimento, produção de bulbos e absorção de nutrientes na cultura do alho vernalizado em função de relações cálcio: magnésio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, n.1, p. 409-415, 1995.

BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; MAFRA, A .L.; WIKDNER, L.P.; MIQUELLUTI, D.J. Fauna edáfica Bioline avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.2, n.1, p.97-106, 2003.

BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.S.; BERTOL, I.; ALVES, M.V.; MANFOI, A.F.; BARETTA, C.R.D. M. Efeito do cultivo do solo sobre a diversidade da fauna edáfica no Planalto Sul catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.5, n.2, p.108-117, 2006.

BHERING, S.B.; SANTOS, H.G. dos; BOGNOLA, I.A.; CÚRCIO, G.R.; MANZATTO, C.V.; CARVALHO JUNIOR, W. de; CHAGAS, C da S.; ÁGLIO, M.L.D.; SOUZA, J.S. de. **Mapa de solos do Estado do Paraná: legenda atualizada**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/IAPAR, 2008. 74p.

BORGES, E. C. L et al. Estudo da capacidade de complexação e sua relação com algumas variáveis ambientais em cinco represas do Rio Tietê/Brasil. **Química Nova**, v.30, n.7, p.1505-1511, 2007.

BORGES, A.L. e SOUZA, L. da S. **Atributos físicos e químicos de solos cultivados com bananeira, sob irrigação, no Projeto Formoso, Bom Jesus da Lapa, Bahia**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2009. 33p.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society American Journal**, v.58, n.4, p.1501-1511, 1994.

CAMPANHA, M. M. e SANTOS, R. H. S. Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura na zona da mata-MG. **Revista Árvore**, v.31, n.1, p.805-812, 2007.

CAMPOS, M.C.C. et al. Variabilidade espacial dos atributos físicos em um Argissolo Vermelho sob floresta. **Comunicata Scientiae**, v.4, n.2, p.168-178, 2013.

CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M e FREITAS, D.A.F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.2, p.613-622, 2011.

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

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

CECONI, D. E.; POLETTO, I.; LOVATO, T.; ELTZ, F. F. Influência do Uso do Solo nas Principais Propriedades Físicas na Microbacia Hidrográfica do Lajeado Biguá, Alecrim-RS, 2007. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31. 2007 Gramado-RS. **Anais de fertilidade do solo**. Gramado-RS: Serrano, 2007, 5p.

CHAUVAT, M.; ZAITSEV, A. S.; WOLTERS, V. Successional changes of Collembola and soil microbiot during forest rotation. **Oecologia**, v. 137, n. 2, p. 269-276, 2003.

COLLARES, G.L. et al. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.3, p.933-942, 2008.

COLEMAN, D. C. e CROSSLEY JUNIOR, D. A. **Fundamentals of soil ecology**. San Diego: Elsevier, 1995. 375p.

CONCEIÇÃO, P.C. **Agregação e proteção da matéria orgânica em dois solos do sul do Brasil**. 2006. 138p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Curso de Pós-graduação em agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

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.

CORREIA, M.E.F. e ANDRADE, A.G. **Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes**. Porto Alegre: Genesis, 1999. 225p.

CORTEZ, J. W.; ALVES, A. D. S.; MOURA, M. R. D.; OLSZEWSKI, N.; NAGAHAMA H. J. Atributos físicos do argissolo amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1207-1216, 2011.

COUTO, W.H. et al. Atributos edáficos e resistência à penetração em áreas de sistemas agroflorestais no Sudoeste Amazônico. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 3, p. 811-823, 2016.

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

CUNHA, J.P.A.R. da; VIEIRA, L.B.; MAGALHÃES, A.C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, v.10, n.1-4, p.1-7, 2002.

DAMÉ, P. R. V. et al. Efeitos da queimada seguida de pastoreio ou diferimento sobre o resíduo, temperatura do solo e mesofauna de uma pastagem natural. **Ciência Rural**, v. 26, n. 3, p. 391-396, 1996.

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

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 453-461, 2012.

DURIGON, R. **Aplicação de técnicas de manejo localizado na cultura de arroz irrigado (Oryza sativa)**. 2007. 149p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria.

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

EMBRAPA. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa monitoramento por satélite, 2010. 27 p.

FERNANDES, K.L.; RIBON, A.A.; HERMÓGENES V.T.L.; CUSTÓDIO, G.D.; BARROS, L.R. Atributos físicos de solo sob cerrado em diferentes sistemas de uso e manejo de pastagens e mata nativa. **Cultivando o Saber**, v. 7, n.1, p. 14 -23 2014.

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de Sistemas de Manejo de Pastagens nas Propriedades Físicas do Solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2010.

GOLÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V. DA MATA; J. D. V. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Scientiarum**, v. 23, n.5, p. 1149-1157, 2001.

GOMES, N.M.; SILVA, A.M.; MELLO, C.R.; FARIA, M.A.; OLIVEIRA, P.M. Métodos de ajuste e modelos de semivariograma aplicados ao estudo da variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 435-443, 2007.

GREGO, C.R. e VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.2, p.169-177, 2005.

HAMZA, M.A. e ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, v.82, n.2, p.121-145, 2005.

HARBONE, F.B. **Role of phenolic secondary metabolites in plants and their degradation in nature**. Cambridge: CAB International, 1997. 74p.

HERNANDEZ, R. J. e SILVEIRA, R. I. Efeitos da saturação por bases, relações Ca: Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays* L.). **Scientia Agricola**, v. 55, n. 1, p. 79-85, 1998.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P. da; TORMENA, C. A. Aplicações da Curva de Resistência no Controle da Qualidade Física de um Solo sob Pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, 2000.

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

IWATA, B.F.; LEITE, L.F.C.; ARAÚJO, A.S.F.; NUNES, L.A.P.L.; GEHRING, CHRISTOPH e CAMPOS, L.P. Sistemas Agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho – Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.7, p.730-738, 2012.

KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.1, p.405-416, 2008.

KRIGE, D.G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. **Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa**, v. 52, n. 6, p. 119-139, 1951.

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

LAVELLE, P. et al. Impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. **Soil Science Society of America and American Society of Agronomy**, v.38, n.29, p.157-188, 1992.

LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. **Biology Internship**, v. 33, n. 1, p. 3-16, 1996.

LAVELLE, P. e SPAIN, A.V. **Soil ecology**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001. 654p.

LEÃO, M.G.A. et al. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo sob cultivo de citrus. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.1, p.121-131, 2010.

LEMOS FILHO, L. C. A.; OLIVEIRA, E. L.; FARIA, M. A.; ANDRADE, L. A. B. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 2, p. 193-202, 2008.

LIMA, S. S.; LEITE, L. F. C.; AQUINO, A. M. OLIVEIRA, F. C. e CASTRO, A. A. J. F. Serapilheira e teores de nutrientes em argissolo sob diferentes manejos no norte do Piauí. **Revista Árvore**, v.34, n.1, p. 75-84, 2010.

LIMA, S.S. et al. Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.3, p.322-331, 2010.

LORANGER, G. et al. Influence of agricultural practices on arthropod communities in a vertisol (Martinique). **European Journal of Soil Biology**, v. 34, n. 3, p. 157-165, 1999.

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

MONTEIRO, M.T e GAMA-RODRIGUES, E.F. Carbono, Nitrogênio e atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serapilheira de uma floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.5, p.819-826, 2004.

MOREIRA A. e 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.

NETO, E.L.S.; ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta à culturas de pré-AGra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.43, n.2, p.255-260, 2008.

ORTIZ, G. da C. **Aplicação de métodos geoestatísticos para identificar a magnitude e a estrutura da variabilidade espacial das variáveis físicas do solo**. 2002. 75 f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação) – Curso de Pós-graduação em agronomia, Universidade de São Paulo.

PASQUALIN, L.A.; DIONÍSIO, J.A.; ZAWADNEAK, M.A.C.; MARÇAL, C.T. Macrofauna edáfica em lavouras de cana-de-açúcar e mata no noroeste do Paraná – Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 7-18, 2012.

PENEIREIRO, F. M. **Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso**. 1999. 149p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Curso de Pós-graduação em Ciências, Universidade de São Paulo.

POGGIANI, F.; OLIVEIRA, R.E.; CUNHA, G.C. **Práticas de ecologia florestal**. Piracicaba: Departamento de Ciências Florestais, 1996. 44p. (Documentos Florestais, 16).

PONGE, J.F.; GILLET, S.; DUBS, F.; FEDOROFF, E.; HAESE, L.; SOUSA, J.P. & LAVELLE, P. Collembolan communities as bioindicators of land use intensification. **Soil Biology Biochemical**, v.35, n.6, p.813-826, 2003.

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

ROSA, M. E. C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONCA, E. S.; COSTA, M. L.; CORREIA, R. J. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p.911-923, 2003.

ROSA, M.G. et al. Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no Planalto Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.6, p.1544-1553, 2015.

SERRAFIM, M.E. et al. Desenvolvimento de um penetrógrafo eletromecânico de bancada. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, v.17, n.1, p.61-65, 2008.

SAUTTER, K.D.; MOTTA NETO, J.A.; MORAES, A.; SANTOS, H.R. & RIBEIRO JUNIOR, P.J. População de Oribatei e Collembola em pastagens na recuperação de solos degradados pela mineração do xisto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.9, p.1509-1513, 1998.

SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. e VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da resistência a penetração de um Latossolo Vermelho-Escuro ao longo de uma transeção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, n.1, p.1-5, 1989.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo-sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: Funep, 2002. p. 1-18.

SILVA, R. R. D.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. D. S.; CURI, N.; ALIVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n.5, p. 1585-1592, 2010.

SILVA, D.C.; SILVA, M.L.M.; CURI, N.; OLIVEIRA, A.H.O.; SOUZA, F.S, MARTINS, S.G E MACEDO, R.L.G. Atributos do solo em Sistemas Agroflorestais, Cultivo Convencional e Floresta Nativa. **Revista de Estudos Ambientais**, v.13, n.1, p.77-86, 2011.

SILVA, R.F.; SAIDELLES, F.L.F.; VASCONCELLOS, N.J.S.; WEBBER, D.P.; MANASSERO, D. Impacto do fogo na comunidade da fauna edáfica em Florestas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda*. **Revista Brasileira Agrociência**, v.17, n.2-4, p.234-241, 2011.

SIQUEIRA, D. S.; MARQUES JÚNIOR. J.; PEREIRA, G. T. Using landforms to predict spatial and temporal variability of soil and orange fruit attributes. **Geoderma**, v. 155, n. 1-2, p. 55-66, 2010.

SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; MAGALHÃES, P. S. G.; SIQUEIRA, D. S. Spatial variability of soil attributes and sugarcane yield in relation to topographic location. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12, p. 250-256, 2010.

STRECK, C.A. et al. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, n.3, p.755-760, 2004.

SURFER for windows. Realese 7.0. **Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers**. User's guide. New York: Golden software, 1999. 619p.

TARRÁ, I.L.C.; LUIZÃO, F.J.; WANDELI, E.V.; TEIXEIRA, W.G.; MORAES, W.J.; FERNANDES, E.C.M.; BROCHEL, K.V.; PÉREZ, N.V. Grupos funcionais da macrofauna e macroporos do solo em sistemas agroflorestais da Amazônia Central. **Prospect**. v.10, n.1, p.6-17, 2012.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. e VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

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

VIEIRA, S. R. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos relacionados com o estado de agregação de dois Latossolos cultivados no sistema de semeadura direta. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 185-195, 2011.

WARREWN, M.W. e ZOU, X. Soil macrofauna and litter nutrients in three tropical tree plantations on a disturbed site in Puerto Rico. **Forest Ecology and Management**, v. 170, n.1-3, p. 161-171, 2002.

WARRICK, A. W. e NIELSEN, D. R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: Hillel, D. (ed). Applications of soil physics. New York: Academic Press, 1980. 385p.

WILDING, L.P. e DREES, L.R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L.P.; SMECK, N.E. & HALL, G.F., eds. **Pedogenesis and soil taxonomy I. Concepts and Interactions**. Amsterdam: Elsevier, 1983.Cap.4, p.83-116.

WOLTERS, V. Invertebrate control of soil organic matter stability. **Biology and Fertility of Soils**, v.31, n.1, p.1-19, 2000.

ZEPPELINI FILHO, D. e BELLINI, B.C. **Introdução ao estudo dos Collêmbola**. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2004. 82p.

4.0 Análises da correlação entre atributos do solo e variáveis dendrométricas em agrofloresta

Analysis of the correlation between soil attributes and dendrometric variables in agroflorest

4.1 RESUMO

Estudos sobre a correlação de variáveis de produção e atributos do solo têm sido realizados em várias culturas ao longo do tempo buscando entender as relações positivas ou negativas entre esses, buscando a relação ideal para maximização da produção e de lucros. Este trabalho teve como objetivo avaliar a correlação entre os atributos químicos, físicos e biológicos do solo com variáveis dendrométricas em uma agrofloresta (AG) no município de Dois Vizinhos – PR, visando estabelecer as condições de solo mais adequadas ao cultivo deste sistema de produção. Foram avaliados os atributos químicos (M.O, P, K⁺, pH, Ca²⁺, Mg²⁺, SB, V%, CTC) físicos (macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade e umidade), para as profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm e os índices biológicos: Número de indivíduos, Ordens, Shannon, Simpson, Margalef, Evenness e Respiração microbiana acumulada (CO²) entre 0-10 cm, amostrados através de uma malha com intervalos de aproximadamente 10 m, perfazendo um total de 24 pontos e 72 amostras em uma área de 1790,8 m². Para as variáveis dendrométricas foram levantadas CAP, este convertido em DAP, Dc diâmetro de copa (Dc) e a altura total, onde através destes calculou-se o volume e área transversal (g). Na sequência, utilizou-se a análise de correlação de Spearman (linear e não paramétrica) $p < 0,05 >$ entre os atributos do solo e as variáveis dendrométricas. A área foi subdividida em 4 quadrantes e 32 subparcelas, onde foram realizadas as análises de Spearman individualizadas com o auxílio do programa estatístico R. Para a química do solo houve correlação inversa alta entre V% e g. Para a física somente a RP se correlacionou de forma

inversa e alta com Dc. Ainda, para os índices biológicos, estes não apresentaram correlação significativa com as variáveis em estudo.

Palavras-chave: Nutrição, Produção, Manejo de solos.

4.2 ABSTRACT

Studies on the correlation of production variables and soil attributes have been carried out in several cultures over time, seeking to understand the positive or negative relations between these, seeking the ideal relationship to maximize production and profits. The objective of this work was to evaluate the correlation between the chemical, physical and biological attributes of the soil with dendrometric variables in an agroforest (AG) in the municipality of Dois Vizinhos - PR, aiming to establish the soil conditions most appropriate to the cultivation of this production system. The chemical attributes (MO, P₂O₅, K⁺, pH, Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SB, V (%), CTC), physics (macroporosity, microporosity, total porosity, density and humidity) for the depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm and the biological indexes: Number of individuals, Orders, Shannon, Simpson, Margalef, Evenness and accumulated microbial respiration (CO₂) between 0-10 cm, sampled through a mesh with intervals of about 10 m, making a total of 24 points and 72 samples in an area of 1790.8 m². For the dendrometric variables CAP, this one was converted into DAP, Dc cup diameter (Dc) and total height, where through this the volume and cross-sectional area were calculated (g). Then, the Spearman correlation analysis (linear and non-parametric) p <0.05> was used between the soil attributes and the dendrometric variables. The area was subdivided into 4 quadrants and 32 subplots, where Spearman analyzes were performed with the aid of the statistical program R. For soil chemistry, there was an inverse correlation high between V% and g. For physics

only RP correlated inverse high with Dc. Still, for the biological indexes, these did not present a significant correlation with the variables in the study.

Key-words: Nutrition, Production, Soil Management.

4.3 INTRODUÇÃO

Os plantios de espécies florestais bem como agrícolas de rápido crescimento, de grande capacidade de extração de nutrientes e exigentes quanto às condições de solo acarretam em impactos significativos nas reservas minerais do solo e nas formas de manejo de solo. Portanto, é essencial o uso de ferramentas estatísticas como as correlações para o entendimento da relação entre os atributos do solo e a produção das espécies, visando o adequado manejo químico, físico e biológico e a manutenção da produtividade da cultura.

Segundo EMBRAPA (2010) sistema agroflorestal é definido como uma forma de uso da terra na qual se combinam espécies arbóreas lenhosas frutíferas e madeireiras com cultivos agrícolas ou animais, de forma simultânea ou em sequência temporal e que interagem ecológica e economicamente.

Quando há domínio sobre a técnica de AGs, possibilita-se entender sua dinâmica de implantação e condução, aliado ao conhecimento das características dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, pode-se além de entender a dinâmica desse sistema, estimar qual será o crescimento e produção cultural, prevendo assim para cada condição o resultado da interação de ambiente e cultura, considerando as características químicas e físicas do solo, bem como as biológicas. Sendo assim é de grande valia o estudo das características dos atributos do solo para assim através de uma análise mais detalhada realizar a tomada de decisões sobre manejo e condução de solo cultivado e sobre a cultura de interesse em uma AG.

Na atualidade, são conhecidos efeitos isolados de diferentes manejos e culturas nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Contudo existem, no solo, diversas inter-relações entre esses atributos que controlam os aspectos e os processos relacionados à sua variação no tempo e no espaço, de modo que qualquer alteração no solo pode alterar diretamente sua estrutura e sua atividade biológica e, por consequência, sua fertilidade, com reflexos na sua qualidade e na produtividade das culturas (CARNEIRO et al., 2009). Diante deste cenário, a avaliação conjunta dos atributos do solo e o exame da sua correlação com as variáveis dendrométricas em agrofloresta (AG) são de extrema importância para definir melhores práticas de manejo conjunto do solo e da cultura, visando à sustentabilidade do sistema de produção.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é uma agrofloresta (AG), a mesma descrita no artigo anterior, item 2.4, bem como a metodologia da coleta de amostras e análises de solo.

Quanto ao inventário das espécies, com o uso de fita métrica mediu-se os CAP: circunferência à altura do peito de todos os indivíduos na área, bem como de suas respectivas alturas totais com o auxílio do equipamento Hipsômetro Vertex III. Os valores para o CAP foram convertidos em DAP (m): diâmetro à altura do peito, através da fórmula: $(3,1416 * CAP^2) / 40,000$. Para o cálculo da área basal (g) em m² foi usada a fórmula: $(3,1416 * DAP^2) / 4$.

Para alguns indivíduos foram mensurados seus diâmetros de copa (Dc), calculando uma média entre duas medidas obtidas para cada indivíduo. A área total do estudo foi subdividida em 32 subparcelas, onde foi usado o critério de Pitágoras para alocação das mesmas em campo, de modo que estas apresentassem as mesmas dimensões. Cada subparcela ficou com uma área de 55,65 m², sendo que os indivíduos foram inventariados

individualmente para cada uma destas.

De posse dos dados químicos, físicos e biológicos do solo, bem como dos dendrométricos levantados na AG, com o auxílio do programa estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011), realizou-se as análises de correlação. Em cada uma das 32 subparcelas localizadas na área foram geradas previsões usando o modelo geoestatístico (Exponencial) em dez pontos geográficos distintos dentro da subparcela. Com esses dez valores calculou-se uma média aritmética a fim de se obter o valor médio de cada subparcela.

Este procedimento foi repetido para todas as variáveis de solo e posteriormente usado para verificar a correlação do valor médio do atributo de solo na subparcela com as variáveis dendrométricas presentes na mesma subparcela. Foi calculado para cada variável o coeficiente de correlação de Spearman gerando a matriz de correlação. A fim de investigar a significância das estimativas obtidas nas matrizes de correlação foi gerada uma matriz de valores-p, através do teste t. Optou-se pela correlação de Spearman porque parte dos dados não eram paramétricos, ou seja, não seguiam a distribuição normal.

Primeiro checou-se o valor p, do teste t para a estimativa, caso este fosse menor que 0.05 pode-se afirmar que a estimativa da correlação é diferente de zero. Se esta for negativa a correlação é inversa, sendo positiva a correlação é direta ainda, se próxima de 1 correlação alta e próxima de zero correlação baixa.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Somente a porcentagem de saturação de bases (V%) apresentou correlação significativa, onde o mesmo apresentou efeito inverso alto sobre a área basal dos indivíduos na profundidade de 0-5 cm com 5% de probabilidade de erro.

O resultado para V% vai de encontro com o resultado obtido por CORRÊA (2007), onde o autor obteve uma correlação direta entre as variáveis de produção, diâmetro a altura do peito (DAP), incremento médio anual (IMA), incremento corrente anual (ICA) e a altura (H) com os atributos químicos do solo, resultados estes não constatados neste estudo, onde somente a área basal apresentou correlação inversa e alta com esse elemento químico do solo. Fato este que poder estar relacionado ao tempo de implantação da AG sendo maior que o da área desse estudo, conseqüentemente apresentando uma área com maior equilíbrio entre atributos químicos do solo e ambiente.

Já os resultados obtidos por MESQUITA et al. (2007) indicam o inverso do obtido neste estudo, onde estudando ambientes com alta ocorrência de Araticum (*Annona crassiflora* Mart.) no estado de Goiás-GO constatou que houve forte influência positiva da V% sobre a área basal das plantas de Araticum.

Para os atributos físicos do solo analisados nas três profundidades não houve resultados significativos, exceto RP. Essas poucas correlações confirmam a tendência observada por outros pesquisadores (YANAI et al., 2001, FROGBROOK et al., 2002, PONTELLI, 2006) que os atributos físicos e químicos do solo são insuficientes para explicar a variabilidade do rendimento espacial da produção.

Para superar essa limitação, SANTI (2007) propôs o uso da análise de componentes principais para definir quais atributos são decisivos na variabilidade da produção. Esse autor investigou quais atributos químicos e físicos poderiam explicar a maioria dos resultados, a variabilidade total na área e sua relação com o rendimento relativo das culturas, podendo servir de base para seu emprego em estudos futuros nas áreas sob AG.

Tabela 11 - Análise de correlação de Spearman entre os atributos químicos do solo nas três profundidades avaliadas e as variáveis dendrométricas da agrofloresta.

Vd.	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K ⁺ mg dm ⁻³	pH CaCl ₂	Ca ²⁺ cmol _(c) dm ⁻³	Mg ²⁺ cmol _(c) dm ⁻³	SB cmol _(c) dm ⁻³	V%	CTC
				Camada	0 a 5	cm			
H	-0,0117	0,0825	-0,0015	-0,0139	0,0359	-0,1078	-0,0887	-0,1437	0,0975
DAP	0,0059	-0,1635	0,1349	-0,3662	-0,1503	-0,1712	-0,3669	-0,5062	-0,4384
Dc	0,0850	0,5260	-0,2592	0,1386	0,1400	0,1342	0,1034	0,0924	0,1804
g	-0,2379	-0,1492	-0,1459	-0,5282	0,1217	-0,4135	-0,2878	-0,5740*	-0,2210
V	-0,3163	-0,1210	-0,2427	-0,5488	0,1793	-0,4384	-0,2650	-0,5495	-0,2133
				Camada	5 a 10	cm			
H	-0,0246	0,0876	-0,0869	0,0374	0,0183	0,0345	0,1474	0,0924	0,1030
DAP	-0,0931	-0,2056	0,2188	-0,3299	-0,2573	-0,2225	-0,3919	-0,3057	-0,4413
Dc	0,0759	0,4531	-0,3438	0,2346	0,1052	0,0938	0,1811	0,2379	0,1382
g	-0,4373	-0,2416	0,0616	-0,4051	-0,0953	-0,3992	-0,3534	-0,3325	-0,3391
V	-0,5231	-0,2331	-0,0205	-0,4318	-0,0755	-0,4600	-0,3589	-0,3530	-0,3273
				Camada	10 a 20	cm			
H	-0,0938	0,0770	-0,0843	0,0817	-0,0216	0,1430	0,1041	0,0392	0,1034
DAP	-0,1778	-0,2533	0,2478	-0,3314	-0,2962	-0,2361	-0,4589	-0,4685	-0,3523
Dc	0,2273	0,5440	-0,3032	0,0557	0,0916	0,1107	0,1994	0,0759	0,2335
g	-0,2955	-0,2804	0,0070	-0,3087	-0,0429	-0,4135	-0,2903	-0,4373	-0,1426
V	-0,2478	-0,2610	-0,0913	-0,2823	0,0011	-0,4069	-0,2522	-0,4032	-0,0905

Vd: variáveis dendrométricas. H: altura (m). DAP: diâmetro à altura do peito (m). Dc: diâmetro de copa (m). g: área transversal dos indivíduos (m). V: volume calculado para os indivíduos mensurados (m³). *: correlação significativa a 5% de probabilidade de erro pelo teste t.

Tabela 12: Análise de correlação de Spearman entre os atributos físicos do solo nas três profundidades avaliadas e as variáveis dendrométricas da agrofloresta.

Vd.	Macrop.	Microp.	Por. Total	Densidade	Umidade
		Camada	0 a 5 cm		
H	0,0004	0,0583	-0,0543	-0,0051	-0,0029
DAP	-0,0055	0,1877	-0,0466	0,1609	-0,3317
Dc	0,0521	0,0781	0,0213	-0,2911	0,3875
G	-0,3076	0,1272	-0,3054	0,4384	-0,4029
V	-0,3761	0,0583	-0,3662	0,4769	-0,4043
		Camada	5 a 10 cm		
H	-0,0872	-0,0495	-0,0513	-0,2108	0,0554
DAP	0,3361	-0,3640	0,0469	-0,3079	0,0590
Dc	-0,1532	0,4637	0,2001	-0,1276	0,1030
g	0,1444	-0,2973	-0,1367	-0,1631	-0,1906
V	0,0139	-0,2339	-0,1880	-0,0759	-0,2889
		Camada	10 a 20 cm		
H	0,3215	0,0480	0,3233	-0,0389	0,0092
DAP	0,1679	0,2507	0,3823	0,0062	-0,0920
Dc	-0,1694	-0,3761	-0,2181	0,0751	-0,2724
g	0,2001	0,0216	0,2819	0,3156	-0,2540
V	0,2328	-0,0561	0,2753	0,4025	-0,3229

Vd: variáveis dendrométricas. H: altura (m). DAP: diâmetro à altura do peito (m). Dc: diâmetro de copa (m). g: área transversal dos indivíduos (m). V: volume calculado para os indivíduos mensurados (m³). Macrop.: macroporosidade. Microp.: microporosidade. Por. Total: porosidade total. *: correlação significativa a 5% de probabilidade de erro pelo teste t.

Para o atributo físico do solo RP houve correlação significativa inversa com a variável dendrométrica diâmetro de copa na profundidade de 20-25 até 45-50 cm, aumentando com aumento da profundidade.

Tabela 13: Análise de correlação de Spearman entre os atributos físicos RP no intervalo de 0-50 cm de profundidade e as variáveis dendrométricas da agrofloresta.

Vd.	Profundidade RP									
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50
H	0,0740	-0,0062	0,0033	-0,0033	-0,0638	-0,0623	-0,0755	-0,0821	-0,0938	-0,0891
DAP	0,1782	0,1144	0,2452	0,2944	0,2196	0,1767	0,1554	0,1624	0,2104	0,1972
Dc	-0,2302	-0,3911	-0,5169	-0,5121	-0,5934*	-0,5729*	-0,5968*	-0,5916*	-0,5938*	-0,6118*
g	0,4630	0,2797	0,3409	0,3222	0,2815	0,2768	0,2720	0,3068	0,3237	0,2632
V	0,4622	0,2372	0,3057	0,2691	0,2412	0,2346	0,2496	0,2863	0,2757	0,2262

Vd: variáveis dendrométricas. H: altura (m). DAP: diâmetro à altura do peito (m). Dc: diâmetro de copa (m). g: área transversal dos indivíduos (m). V: volume calculado para os indivíduos mensurados (m³). *: correlação significativa a 5% de probabilidade de erro pelo teste t.

Esse resultado obtido para a correlação inversa e alta entre RP e diâmetro de copa pode estar atrelado ao fato que com altos valores de RP o solo apresenta volume de poros reduzidos e a ainda a velocidade de infiltração de água no solo, influenciando diretamente no crescimento radicular das culturas e conseqüentemente em seu desenvolvimento. Assim, as profundidades com as correlações significativas são as que apresentam as maiores RP, sendo um fator que possivelmente influencia negativamente a variável dendrométrica diâmetro de copa, ou ainda esta indiretamente afetada pela relação da compactação do solo com outros fatores tais como disponibilidade de água, nutrientes (ISHAQ et al., 2001), tamanho de poros como afirmam HANZA e ANDERSON (2005).

Estudos foram realizados avaliando o crescimento e desenvolvimento aéreo e radicular do pinhão manso e neste VALE et al. (2006); ABREU et al. (2006) e CASTRO et al. (2011), verificaram que a espécie é sensível a compactação do solo. Para outras espécies, de forma geral, há efeito negativo significativo no crescimento e desenvolvimento aéreo e radicular das plantas (estudo com soja ROSOLEM et al., 1994a; milho ROSOLEM et al., 2002; ainda com milho FOLONI et al., 2003; nabo forrageiro REINERT et al. (2008) e soja e eucalipto RIBEIRO et al., 2010). Na cultura do crambe foi observada uma redução média de 50% no crescimento aéreo comparando a maior compactação testada em relação à testemunha (SILVA et al., 2012).

Apesar de representar um problema para o crescimento de florestas manejadas, poucos experimentos foram conduzidos para estimar os efeitos da compactação sobre o desenvolvimento de espécies florestais, em especial o eucalipto, sendo este uma referência na área florestal. Estudos conduzidos em condições mais controladas podem servir para avaliar os efeitos da compactação sobre o crescimento de raízes e da parte aérea, ainda sobre a nutrição das plantas (SILVA et al., 2006).

Para os atributos biológicos do solo (Tabela 14) não houve correlação significativa para ambos com nenhuma variável dendrométrica. De modo contrário, esperava-se encontrar correlação dos índices biológicos com as variáveis dendrométricas de produção pelo fato de que os invertebrados de solo desenvolvem importante função nos ecossistemas florestais onde atuam em sinergismo com os microorganismos na decomposição de organismos orgânicos e ciclagem de nutrientes (LAVELLE e SPAIN, 2001). Assim, diversos grupos de invertebrados da macrofauna do solo atuam na transformação de serapilheira, redistribuição da MO na superfície e no perfil do solo, favorecendo as atividades de microorganismos e as populações responsáveis pela ciclagem de nutrientes e mineralização (CORREIA e OLIVEIRA, 2000).

Além da função ecológica, a comunidade de invertebrados da macrofauna é utilizada como uma indicadora de distúrbios ambientais ou da qualidade do solo em virtude de sua rápida resposta as intervenções nos ecossistemas, bem como de sua contribuição significativa nos processos edáficos (BROWN et al., 2009; BARETTA et al., 2011) por isso nesse estudo se esperava tal correlação significativa.

Tabela 14: Análise de correlação de Spearman entre os atributos biológicos na profundidade de 0-10 cm e as variáveis dendrométricas da agrofloresta.

	Ordens	Indivíduos	Simpson	Shannon	Margalef	Evenness	CO ₂
H	0,0579	0,0191	-0,1272	-0,1532	0,0993	-0,0968	0,0356
DAP	0,0235	0,2401	-0,3087	-0,3149	0,0414	-0,3640	-0,2210
Dc	-0,4875	-0,3838	0,3530	0,2661	-0,2911	0,4655	0,2823
g	-0,0924	0,0198	-0,1880	-0,2416	0,1217	-0,3523	-0,2812
V	-0,1122	-0,0781	-0,2295	-0,2647	0,1653	-0,3226	-0,3134

Vd: variáveis dendrométricas. H: altura. DAP: diâmetro à altura do peito. Dc: diâmetro de copa. g: área transversal dos indivíduos. V: volume calculado para os indivíduos mensurados. *: correlação significativa a 5% de probabilidade de erro pelo teste t.

4.6 CONCLUSÕES

Houve correlação inversa alta entre o atributo químico saturação de bases e área basal dos indivíduos na profundidade de 0-5 cm. Para a física do solo, somente houve resultado significativo para o atributo resistência do solo à penetração, especificamente nas profundidades de 20-25 até 45-50 cm, sendo esta inversa e alta. Para os índices biológicos não houve significância para nenhum destes, o contrário do esperado para esta análise.

4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, H. A.; GUERRA, G. M.; NUNES, M. D.; PEREIRA, V. C.; ASSIS, R. L. ; SILVA, O. A.; SILVA, G. P.; PIRES, F. R.; IMOLES, A. S. Crescimento aéreo e radicular de pinhão-mansão sob diferentes níveis de compactação do solo. In: **CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL**, 1., 2006, Brasília. Anais... Brasília: MCT/ABIPTI, 2006. 149p. p.144.

ALVARES, CA; STAPE, JL; SENTELHAS, PC; GONÇALVES, JLM; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p. 711-728, 2013.

BARETTA, D. et al. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: KLAUBERG-FILHO, O.; MAFRA, A.L.; GATIBONI, L.C. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011, p.141-192.

BEAUCLAIR, E.G.F. **Relações entre algumas propriedades químicas do solo e a produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), através de regressão linear múltipla**. 1991. 90p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade de São Paulo.

BHERING, S.B.; SANTOS, H.G. dos; BOGNOLA, I.A.; CÚRCIO, G.R.; MANZATTO, C.V.; CARVALHO JUNIOR, W. de; CHAGAS, C da S.; ÁGLIO, M.L.D.; SOUZA, J.S. de. **Mapa de solos do Estado do Paraná: legenda atualizada**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/IAPAR, 2008. 74p.

BROWN, G.G. et al. **Macrofauna do solo em sistemas agroflorestais e Mata Atlântica em regeneração nos municípios de Barra do Turvo – SP e Adrianópolis – PR**. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. 51 p. (Documentos, 184).

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; REIS, E. F. dos, PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.1, p.147-157, 2009.

CARVALHO, G.J. et al. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.765-771, 2006.

CASTRO, C. M.; DEVIDE, A. C. P.; CAMARGO, C. A. Efeito do espaçamento no desenvolvimento do pinhão manso em sistema de integração com pecuária de corte. In: **CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL**, 1., 2006, Brasília. Anais... Brasília: MCT/ABIPTI, 2006. 149p. p.117.

CONCEIÇÃO, P.C. **Agregação e proteção da matéria orgânica em dois solos do sul do Brasil**. 2006. 138p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Curso de Pós-graduação em agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CORREIA, M.E.F e OLVEIRA, L.C.M. **Fauna de Solo: aspectos gerais e metodológicos**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000.46 p.(Documentos, 112).

CORRÊA, R.S. **Efeito dos atributos do solo na produtividade e qualidade da madeira de *Pinus caribea* var. *hondurensis***. 2007. 89p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná.

EMBRAPA. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa monitoramento por satélite, 2010. 27 p.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 08, p. 947-953, 2003.

FROGBROOK, Z.L.; OLIVER, M.A.; SALAHI, M.; ELLIS, R.H. Exploring the spatial relations between cereal yield and soil chemical properties and the implications for sampling. **Soil Use and Management**, v.18, n.1, p.1-9, 2002.

HANZA, M. A e ANDERSON, W. K. Soil compactation in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, v. 82, n. 02, p. 121-145, 2005.

ISHAQ, M.; IBRAHIM, M.; HASSAN, A.; SAEED, M. e LAL, R. Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan: II. Root growth and nutrient uptake of wheat and sorghum. **Soil and Tillage Research**, v. 60, n.1, p.153-161, 2001.

LAVELLE, P e SPAIN, A. **Soil Ecology**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001.654 p.

MESQUITA, M.A.M. et al. Caracterização de ambientes com alta ocorrência natural de *Articum* (*Annona crassiflora* Mart.) no estado de Goiás. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.29, n.1, p.15-19, 2007.

PONTELLI, C.B. **Caracterização da variabilidade espacial das características químicas do solo e da produtividade das culturas utilizando as ferramentas da agricultura de precisão**. 2006. 111p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2013.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, 2008.

RIBEIRO, M. A. V.; NOVAIS, R. F.; FAQUIN, V.; FERREIRA, M. M.; FURTINI NETO, A. E.; LIMA, J. M.; VILLANI, M. E. A. Resposta da soja e do eucalipto ao aumento da densidade do solo e a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 04, p. 1157-1164, 2010.

ROSOLEM, C. A.; ALMEIDA, A. C. S.; SACRAMENTO, L. V. S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, v. 53, n. 2, p. 259-266, 1994a.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. **Soil and Tillage Research**, v. 65, n. 1, p. 109-115, 2002.

SANTI, A.L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. 175p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria.

SILVA, S.R. et al. Crescimento e nutrição de Eucalipto em resposta à compactação de Latossolos com diferentes umidades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 5, p.759-768, 2006.

SILVA, S. D. et al. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) e crambe (*Crambe abyssinica* Hochst). **Revista Global Science Technology**, v.5, n.2, p.87-97, 2012.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

VALE, L. S.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. M. Crescimento do pinhão manso em solo compactado. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL**, 1., 2006, Brasília. Anais... Brasília: MCT/ABIPTI, 2006. 149p. p.78.

YANAI, J.; LEE, C.K.; KAHO, T.; IIDA, M.; MATSUI, T.; UMEDA, M.; KOSAKI, T. Geostatistical analysis of soil chemical properties and rice yield in a paddy field and application to the analysis of yield-determining factors. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.47, n.2, p.291-301, 2001.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os diferentes sistemas de uso do solo apresentam variabilidade alta dos atributos do solo, conseqüentemente apresentam efeito sobre a produtividade das culturas adotadas.

A análise geoestatística se destaca como uma ferramenta eficiente na detecção da variabilidade espacial de atributos do solo sob agrofloresta, mesmo nas condições de um ambiente de alta diversidade. Além disso, auxilia na tomada de decisões quanto ao manejo da fertilidade do solo, bem como na detecção de ambientes com impedimentos físicos às culturas.

Para a análise de correlação entre os atributos químicos e físicos, bem como os índices biológicos, a baixa ou nenhuma correlação entre estes e as variáveis dendrométricas de produção pode se dever ao fato que nesse ambiente agroflorestal há alta diversidade e heterogeneidade, fato que reflete na ação de microorganismos e conseqüentemente nos processos ecológicos, tornando os resultados desses processos dependentes de uma soma de fatores e não somente de fatores isolados, o que explica os resultados deste estudo.

O manejo correto do solo é de suma importância tendo em vista que a produção é dependente das condições ideais de fertilidade, variáveis físicas e a ação biológica de microorganismos.

A agrofloresta é um ambiente rico em diversidade edáfica, com indicadores de qualidade do solo que diferenciam quadrantes no interior desta assim, se tem quadrantes em equilíbrio segundo resultados obtidos neste estudo e quadrantes ainda sob stress, indicando um processo de recuperação dentro de sua dinâmica natural.

PRINCIPAIS PONTOS DETECTADOS

- Foi encontrada certa dificuldade e restrição de informações na literatura quanto ao tema de estudo proposto em maior grau no capítulo que aborda a geoestatística, onde se tem pouca ou nada de informações de variabilidade espacial em agrofloresta enquanto que em estudos com outras culturas é mais frequente;
- Que o estudo realizado na agrofloresta é inédito tendo em vista que no momento das pesquisas para elaboração da dissertação informações sobre o tema proposto foram escassas;
- Os diferentes sistemas de uso do solo apresentam grande variabilidade quanto aos atributos químicos, físicos e biológicos refletindo assim no potencial de produção deste;
- A ferramenta geoestatística foi eficiente em detectar a variabilidade espacial dos atributos de solo analisados. Entretanto, para alguns atributos físicos a malha amostral apresentou alcance superior ao obtido através dos semivariogramas usados na interpolação assim requerendo rever a distância máxima usada para definição de uma futura malha amostral nessa área, de modo à aumentar a eficiência nos resultados;
- Não houve correlação para grande parte dos atributos de solo com as variáveis dendrométricas, como relata a literatura para algumas variáveis de produção em determinadas culturas.

CONTRIBUIÇÃO DA PESQUISA

- Tendo em vista as poucas informações e artigos na literatura sobre agroflorestas em específico a aplicação da ferramenta geostatística sobre a mesma este estudo se torna inédito, servindo de base para demais estudos no estado e no Brasil sobre o tema;
- Futuros estudos podem tomar como base este para a adoção de malha amostral aplicada em área de agrofloresta em condições semelhantes de solo e clima. Ainda, melhorar quanto aos pontos onde houve erros neste estudo;
- As análises de correlação entre os atributos do solo e variáveis dendrométricas usadas neste estudo não apresentaram grande significância as conclusões finais. Sendo assim, servirá de base e tomada de decisão para optar em aplica-las ou não a futuros estudos nessas condições ou em selecionar outras variáveis e atributos que melhor se correlacionem;
- Servirá de referência para o corpo acadêmico e científico da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, de modo a somar com futuros projetos de pesquisa nessa área, com um grande registro de informações sobre os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, bem como das variáveis dendrométricas e correlações entre estas.

SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

- Ajustar a malha amostral aplicada no estudo geoestatístico para os atributos físicos do solo, onde nesta ocasião houve alcances menores dos que adotados no campo, fazendo com que a precisão das análises fosse reduzida;
- Para gerar os mapas de Krigagem usar o Programa Surfer 8 pois neste estudo foram gerados os mapas no GS+ e posteriormente todos refeitos por motivo de não ficarem de acordo com o que era desejado em termos de disposição e configuração;
- Quanto ao processamento dos dados e geração da Krigagem em si, recomendado usar o Software GS+, onde obteve-se satisfação nesse estudo para as análises, exceto para geração do mapa de Krigagem;
- Realizar avaliações de composição química de cada espécie na agrofloresta, por quadrante e subparcela assim posteriormente facilitará a análise dos índices biológicos, pois, leva-se em consideração que o elemento e o teor do mesmo influenciarão no processo de degradação da serapilheira e conseqüentemente na química do solo pela deposição.
- Não considerar o Al^{3+} na análise geoestatística, pois a Krigagem do mesmo se torna deficiente e não contributiva para os demais resultados, tendo em vista seus baixos teores no solo para estudos em condições semelhantes a estas.