

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

ODAIR GODOI DE LIMA

INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DA QUALIDADE DO
SOLO EM PLANTIOS FLORESTAIS E FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NA
EMBRAPA FLORESTAS, COLOMBO-PR

Curitiba

2011

ODAIR GODOI DE LIMA

INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DA QUALIDADE DO
SOLO EM PLANTIOS FLORESTAIS E FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NA
EMBRAPA FLORESTAS, COLOMBO-PR

Dissertação apresentada para obtenção
do Título de Mestre
em Ciências do Solo em área de
concentração: Química e Biologia do
Solo, na linha de pesquisa:
Microbiologia e Zoologia do Solo.

Orientador: GEORGE GARDNER BROWN

Co-orientador: EDUARDO TEIXEIRA DA SILVA

Curitiba

2011



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-3350-5648
Página: www.pgcsolo.agrarias.ufpr.br/
E-mail: pgcsolo@ufpr.br

PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **ODAIR GODOI DE LIMA**, sob o título: "**Indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo em plantios florestais e floresta ombrófila mista na Embrapa Florestas, Colombo-PR**", requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração: Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e argüido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração: "Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 16 de fevereiro de 2011.


Eng.º. Agr.º. Dr. George Gardner Brown, Presidente


Prof. Dr. Klaus Dieter Sautter, I.º. Examinador


Prof.ª. Dr.ª. Fabiane Machado Vezzani, II.º. Examinadora



DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus amigos, ao meu orientador e a minha família, especialmente à minha esposa, meus três filhos, ao meu pai e à minha querida mãe, já falecida.

AGRADECIMENTOS

Meus mais sinceros agradecimentos:

À Embrapa Florestas e seus funcionários, especialmente, ao Irineu, Paulino, Amílcar, Wilson, Wagner, Rafaela e Thaianne pela ajuda nos trabalhos de campo, à Marilice Garaztazu (solo e mapas de vegetação), à Cíntia, Antonio Carpanezzi, pelas sugestões e Referências;

À UFPR, em especial ao Programa de Pós-graduação em Ciências do Solo e aos professores Eduardo Teixeira da Silva, Carlos Bruno Reissmann, Fabiane Vezzani, Marco Aurélio, Jeferson Dieckow, Vander Melo, Antonio Carlos Motta, Valmiqui Costa Lima, Celina Wisniewski, Volnei Pauletti e Nerilde Favaretto pelas sugestões e críticas, sempre positivas, e por permitirem o uso dos laboratórios para as análises de solo, aos laboratoristas Juliane, Rodrigo, Roberto, Elda, Maria e Reginaldo pela ajuda durante as análises de solo;

A Secretaria de Estado da Educação e ao Núcleo Regional de Educação da Área Metropolitana Norte (NREAMN), do Estado do Paraná, pelo apoio durante o mestrado;

Aos meus amigos do NREAMN, em especial à Chefia, à Assessoria, ao setor de Estrutura e Funcionamento e à Coordenação Regional de Tecnologias na Educação (CRTE), que sempre me apoiaram e me incentivaram a seguir em frente, mesmo diante das dificuldades que surgiram no decorrer do mestrado;

Aos amigos do mestrado, com quem tive o privilégio de conviver nos últimos três anos, trocar experiências e aprender com eles;

Ao Daniel, pela grande colaboração nos trabalhos de campo, triagem e identificação das minhocas.

À Elodie da Silva, pela sua valiosa ajuda nos trabalhos de campo, triagem, identificação das minhocas, análises de solo, revisão de literatura e redação dos artigos.

Ao professor George Gardner Brown por ter aceitado me orientar, por sua inteligência, paciência, coerência, simplicidade, profissionalismo e por buscar o melhor de seus orientados.

À minha querida família, principalmente à minha esposa Carol, às minhas filhas Ulli e Bruna e ao meu filho Daniel, por estarem do meu lado, me apoiando, me dando carinho, mesmo quando estive tão ausente durante o mestrado.

SUMÁRIO

Lista de figuras-----	8
Lista de tabelas-----	10
Resumo e palavras-chave-----	11
Abstract and key-words-----	12
1 Capítulo 1 Introdução geral-----	13
1.1 Literatura citada-----	16
2 Capítulo 2 Indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo em plantios florestais e Floresta Ombrófila Mista na Embrapa Florestas, Colombo-PR--	19
2.1 Resumo e palavras chave-----	20
2.2 Abstract and key-words-----	21
2.3 Introdução-----	22
2.4 Material e métodos-----	24
2.4.1 Local de estudo -----	24
2.4.2 Atributos químicos e físicos do solo-----	24
2.4.3 Atributos biológicos do solo-----	26
2.4.4 Análises estatísticas-----	27
2.5 Resultados e discussão-----	27
2.5.1 Atributos químicos do solo-----	27
2.5.2. Atributos físicos do solo-----	31
2.5.3. Atributos biológicos do solo-----	34
2.5.4 Análise de componentes principais (ACP), Análise de redundância (RDA)-----	36
2.6 Conclusões-----	38
2.7 Literatura citada-----	39
3 Capítulo 3 Abundância e diversidade de minhocas em plantios florestais e Floresta-ombrófila mista usando dois métodos de coleta-----	44
3.1 Resumo e palavras chave-----	45
3.2 Abstract and key-words-----	46
3.3 Introdução-----	47
3.4 Material e métodos-----	48
3.4.1 Local de estudo-----	48
3.4.2 Métodos de coleta de minhocas-----	49

3.4.3 Método de expulsão com formol-----	51
3.4.4 Método de catação manual-----	51
3.4.5 Identificação das minhocas-----	51
3.4.6 Determinação da abundância e diversidade de minhocas-----	51
3.4.7 Análises estatísticas-----	52
3.5 Resultados e discussão-----	52
3.5.1 Abundância, diversidade e biomassa de minhocas-----	52
3.6 Conclusões-----	60
3.7 Literatura citada-----	61
3.8 Capítulo 4 Conclusão geral-----	67

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1- Imagem de satélite com a localização das 15 parcelas, onde foram realizadas as coletas de minhocas, serapilheira, vegetação espontânea e solo, na Estação de Pesquisa, Embrapa Florestas, Colombo – PR.-----24
- Figura 2- Resultados da análise de porosidade do solo, na Floresta Ombrófila Mista (MN), plantios florestais de *A. angustifolia* (ARA) e de *P. elliottii* (PIN). Estação de Pesquisa da Embrapa Florestas, Brasil, Colombo –PR.-----33
- Figura 3A - Análise de componentes principais (ACP) usando as variáveis ambientais explicativas e os parâmetros químicos, físicos e biológicos de cada ecossistema.-----36
- Figura 3B - Análise de redundância (RDA), usando a diversidade (índice de Shannon), riqueza (número total de espécies),e abundância de espécies de minhocas em cada ecossistema.-----36
- Figura 4 - Densidade (nº. indivíduos m⁻²) de espécies de minhocas (*A. gracilis*, *P. corethrurus* e outras) coletadas em março de 2010, usando os métodos Formol (0,5%) e triagem manual de monólitos (40 x 40 cm), em Floresta Ombrófila Mista (MN), em plantios de *Araucaria angustifolia* (ARA), e em plantios de *Pinus elliottii* (PIN). Estação de Pesquisa da Embrapa Florestas, Colombo –PR.-----52
- Figura 5 - Biomassa (g m⁻²) de espécies de minhocas (*A. gracilis*, *P. corethrurus* e outras) coletadas em março de 2010, usando os métodos Formol (0,5%) e triagem manual de monólitos (40 x 40 cm), em Floresta Ombrófila Mista (MN), em plantios de *Araucaria angustifolia* (ARA), e em plantios de *Pinus elliottii* (PIN). Estação de Pesquisa da Embrapa Florestas, Colombo-PR.-----53
- Figura 6 - Densidade (nº. indivíduos m⁻²) de espécies de minhocas (*A. gracilis*, *P. corethrurus* e outras) coletadas em março de 2010, usando os métodos Formol (0,5%) e triagem manual de monólitos (40 x 40 cm), em Floresta Ombrófila Mista (MN), em plantios de *Araucaria angustifolia* (ARA), e em plantios de *Pinus elliottii* (PIN). Estação de Pesquisa da Embrapa Florestas, Colombo-PR.-----54

Figura 7 - Biomassa (g m^{-2}) de espécies de minhocas (*A. gracilis*, *P. corethrurus* e outras) coletadas em março de 2010, usando os métodos Formol (0,5%) e triagem manual de monólitos (40 x 40 cm), em Floresta Ombrófila Mista (MN), em plantios de *Araucaria angustifolia* (ARA), e em plantios de *Pinus elliottii* (PIN). Estação de Pesquisa da Embrapa Florestas, Colombo-PR.-----55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação do solo, idade e área, na Floresta Ombrófila Mista (MN), plantios florestais de *A. angustifolia* (ARA) e de *P. elliottii* (PIN), altura e diâmetro a altura do peito (DAP) nos plantios de ARA e PIN. Estação de Pesquisa da Embrapa Florestas, Brasil, Colombo-PR.-----25

Tabela 2. Resultados da análise dos atributos químicos do Solo, na Floresta Ombrófila Mista (MN), plantios florestais de *A. angustifolia* (ARA) e de *P. elliottii* (PIN). Estação de Pesquisa da Embrapa Florestas, Brasil, Colombo-PR.-----27

Tabela 3. Resultados da análise dos atributos físicos do solo, na Floresta Ombrófila Mista (MN), plantios florestais de *A. angustifolia* (ARA) e de *P. elliottii* (PIN). Estação de Pesquisa da Embrapa Florestas, Brasil, Colombo-PR.-----30

Tabela 4. Resultados da análise dos atributos biológicos do solo, na Floresta Ombrófila Mista (MN), plantios florestais de *A. angustifolia* (ARA) e de *P. elliottii* (PIN). Estação de Pesquisa da Embrapa Florestas, Brasil, Colombo-PR.-----34

Tabela 5. Características do solo na Floresta Ombrófila Mista (MN), plantios florestais de *A. angustifolia* (ARA) e de *P. elliottii* (PIN). Estação de Pesquisa da Embrapa Florestas, Colombo-PR.-----49

RESUMO

Os plantios florestais, como de *Pinus* spp., tiveram grande crescimento no Brasil, nas últimas décadas, diminuindo a exploração de florestas nativas, gerando empregos e aumentando sua participação no Produto Interno Bruto (PIB) do país. Contudo, ainda existe pouca informação sobre a relação entre esses plantios e os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, e sobre o uso destes atributos como indicadores da qualidade dos solos de plantios florestais. Este trabalho teve como objetivo, avaliar a relação entre os plantios de *Pinus elliottii* (PIN) e *Araucaria angustifolia* (ARA) com os diversos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, em comparação com a Floresta Ombrófila Mista (MN), além de identificar o método mais eficiente para a coleta de um dos atributos biológicos avaliados: as minhocas. Foram estudadas quinze parcelas, sendo cinco com Floresta Ombrófila Mista, cinco com plantios de *A. angustifolia* e cinco de *P. elliottii*. Em cada área foram coletadas cinco amostras para avaliar a abundância e diversidade de minhocas usando dois métodos: aplicação de 20 L de Formol diluído (0,5%) em uma área de 1m², e escavação e triagem manual de monólitos (40 × 40 cm até 20 cm de profundidade). Para análise dos atributos físicos (densidade aparente, macro e microporosidade, textura) e químicos (C, Ca, Mg, K, Na, P, pH, H+Al) do solo, foram feitas coletas compostas (n= 5 por parcela) na camada superficial (0-10 cm). Para medir a resistência à penetração foi utilizado um penetrômetro de cone digital (n= 5 amostras por parcela). Houve diferença significativa entre os três ecossistemas para a maioria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. A MN possui solo mais ácido, maior acidez potencial (H+Al), maiores teores de Al, C, K e maior teor de argila. Nos plantios de PIN encontraram-se maiores teores de P, Ca, Mg, maior resistência à penetração, maior densidade do solo e maior teor de areia. Nos plantios de ARA, foram encontrados maiores teores de K e Al (juntamente com MN) e maior teor de areia (juntamente com PIN). Encontraram-se cinco espécies de minhocas, mas predominaram duas: *Pontoscolex corethrurus* e *Amyntas gracilis*; a primeira foi mais abundante nos plantios, enquanto a segunda predominou na MN. O método de coleta manual foi mais eficiente que o método do formol, para a coleta de *P. corethrurus*. Os melhores indicadores de qualidade do solo foram: H+Al, Ca, Mg, pH, e resistência a penetração.

Palavras chave: Plantios florestais, Mata Nativa, qualidade do solo, minhocas

ABSTRACT

Forest plantations, such as those of *Pinus* spp., had major growth in Brazil in recent decades, reducing the exploitation of native forests, generating jobs and greater participation in the Gross Domestic Product (GDP) of Brazil. However, there is still little information on the relationships between these plantations and the soil chemical, physical and biological properties, and on the use of these as indicators of soil quality in forest plantations. This study evaluated various chemical, physical and biological soil parameters, indicators of soil quality, and their relationships with plantations of *Pinus elliottii* and *Araucaria angustifolia*, compared to the native mixed ombrophylous (Araucaria) forest, as well as identified the most efficient earthworm collection method. Fifteen areas were studied, five with native forest (NF), five with *A. angustifolia* plantations (ARA) and five with *P. elliottii* plantations (PIN). Earthworm diversity and abundance was assessed in five samples per area using two methods: application of 20 L of dilute Formaldehyde (0.5%) in an area of 1m² and excavation and manual sorting of soil monoliths (40 × 40 cm to 20 cm depth). In each area, bulk soil samples (n= 5 per plot) were collected at 0-10 cm to assess soil physical (bulk density, macro & microporosity, textura) and chemical (C, Ca, Mg, K, Na, P, pH, H+Al) properties. Penetration resistance was used assessed using a digital penetrometer (n = 5 samples plot⁻¹). There were significant differences among the three ecosystems in most of the chemical, physical and biological soil properties measured. NF had more acid soils with higher potential acidity, greater Al, C, K and clay contents. PIN had higher P, Ca, Mg and sand contents and higher soil compaction (bulk density and penetration resistance). ARA had high K e Al and intermediate sand contents. Five earthworm species were found but two predominated: *Pontoscolex corethrurus* and *Amyntas gracilis*; the first was more abundant in the plantations, while the second predominated in the NF. Handsorting was more efficient than formalin application for the collection of earthworms. The best indicators of soil quality were H+Al, Ca, Mg, C, pH and penetration resistance.

Keywords: Forest plantations, native forest, soil quality, earthworms

1 CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO GERAL

A *Araucaria angustifolia* é a espécie mais importante da Floresta Ombrófila Mista, distribuindo-se desde o Norte da Argentina (Misiones), Leste do Paraguai até o Brasil, onde se concentra nas regiões Sul e Sudeste, principalmente nos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Originalmente, estas florestas cobriam, no Brasil, uma área de cerca de 250.000 km². Atualmente, restam apenas 32.000 km², sendo que somente 980 km² são áreas de preservação permanente (RIBEIRO *et al.*, 2009).

Segundo FARJON (2006), a *A. angustifolia*, está listada como espécie ameaçada de extinção. Durante o século XX, sofreu super-exploração de sua madeira valiosa e também o consumo generalizado de sementes, conhecido no Brasil como “pinhão”. Além disso, as regiões desmatadas no sul do Brasil foram amplamente convertidas para a agricultura ou o reflorestamento com espécies exóticas de rápido crescimento, como o *Eucalyptus* spp. e o *Pinus* spp. Essas espécies florestais apresentam boa adaptação edafoclimática e ampla gama de utilização, o que poderia reduzir a pressão de exploração das florestas nativas, contribuindo para a conservação dessas áreas (FERRAZ & MOTTA, 2000).

Em 2007, a área reflorestada no Brasil alcançou 6 milhões de hectares, dos quais, quase 2 milhões de hectares foram de *Pinus* spp., enquanto que apenas 17.500 hectares foram plantados com *A. angustifolia*. Neste mesmo ano, o setor de base florestal brasileiro representou 3,4% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, ou seja, US\$ 44,6 bilhões, tendo um aumento de 11% nas exportações, com US\$ 9,1 bilhões, correspondendo a 5,6% do total exportado pelo país em 2007 (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA, 2008).

Além da maior participação no PIB, o aumento das atividades florestais, estimulou a geração de empregos, mas a conversão de florestas naturais para usos agrícolas ou florestais, como as plantações de espécies exóticas, são responsáveis por grandes mudanças na qualidade e biodiversidade do solo, geralmente levando à perda de espécies nativas endêmicas, o aparecimento de espécies invasoras e a predominância de espécies exóticas (DECAËNS *et al.*, 2006; GONZÁLEZ *et al.*, 2006). No entanto, há poucos estudos sobre os efeitos dessas conversões na biodiversidade dos invertebrados e sobre os atributos físicos e químicos do solo, no bioma Mata Atlântica no Brasil e, principalmente, na região de floresta com *A. angustifolia* (BARETTA *et al.*, 2007).

O interesse em avaliar a qualidade do solo vem sendo estimulado pela crescente consciência de que o solo é um componente importante da biosfera terrestre para a manutenção da qualidade ambiental local, regional e global e não só na produção de bens de consumo (DORAN & ZEISS, 2000).

A qualidade do solo está relacionada à sua capacidade em desempenhar funções que afetam a produtividade de plantas e animais, podendo mudar com o passar do tempo em decorrência de eventos naturais ou uso humano (SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 1995), sendo que, indicadores químicos, físicos e biológicos, podem ser utilizados para observação da eficácia do funcionamento edáfico (SCHMITZ *et al.*, 2003).

Segundo DORAN & PARKIN (1994), um bom indicador da qualidade do Solo deve obedecer aos seguintes critérios: estar associado aos grandes processos do ecossistema; integrar propriedades físicas, químicas e biológicas; ser acessível a muitos usuários e aplicável a condições de campo; ser sensível a variações do manejo e do clima e, quando possível, fazer parte de banco de dados.

Os atributos físicos têm sido utilizados para avaliação da qualidade estrutural de solos (LIMA *et al.*, 2008), pois, alterações físicas, afetam o fluxo ou a concentração de água, oxigênio, dióxido de carbono, nutrientes e temperatura do solo, podendo ainda limitar o crescimento e o desenvolvimento das plantas e causar problemas ambientais (STEPNIEWSKI *et al.*, 2002). Indicadores como a densidade do solo, retenção de água e a porosidade do solo são bastante utilizados para avaliação da qualidade do solo (DORAN *et al.*, 1993), por serem propriedades do solo de fácil determinação e receberem pequena influência do teor de água no momento da coleta da amostra de solo (REICHERT *et al.*, 2003).

A Capacidade de Troca de Cátions (CTC), o teor de matéria orgânica e o pH do solo são atributos químicos considerados por DORAN & PARKIN (1994), como fazendo parte da base de dados mínima para indicadores de qualidade de solo. Esses atributos são importantes, pois controlam em grande parte a atividade biológica do solo e o crescimento das raízes, e conseqüentemente a produção vegetal. A avaliação desses atributos, portanto, indica se as condições estão adequadas para o crescimento e o desenvolvimento das plantas e para a manutenção da diversidade de organismos que habitam o solo (DORAN & PARKIN, 1994).

O uso de atributos biológicos para avaliar a qualidade do solo vem sendo progressivamente adotado, por responderem de forma mais rápida às alterações

ambientais que os parâmetros físicos e químicos (BRUSSAARD *et al.*, 2005). Muitos atributos biológicos podem ser usados, mas os mais frequentemente adotados são carbono da biomassa microbiana, respiração basal, quociente metabólico, atividades enzimáticas, mineralização de nitrogênio, e populações e biodiversidade de invertebrados edáficos, como as minhocas (LIMA *et al.*, 2008).

A avaliação da qualidade do solo é complexa e deve ser realizada em função de um conjunto de indicadores específicos (atributos) e suas interrelações, já que se tem verificado que indicadores isolados não são suficientes para explicar a perda ou o ganho potencial dos cultivos de determinado solo (CARNEIRO *et al.*, 2009).

Desta forma, parâmetros químicos, físicos e biológicos devem ser estudados simultaneamente para determinar a relação entre os indicadores, e quais são aqueles que melhor indicam a qualidade do solo de um local e as diferenças na qualidade do solo entre locais.

Portanto, este estudo foi realizado para avaliar as relações entre os plantios florestais e os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, em comparação com a Floresta Ombrófila Mista, usando parâmetros químicos, físicos e biológicos indicadores da qualidade do solo, e avaliar, em particular, as populações e diversidade de minhocas nesses ecossistemas, coletada usando dois métodos distintos (formol e manual).

1.2 LITERATURA CITADA

BARETTA, D.; BROWN, G. G.; JAMES, S.W.; CARDOSO, E. J. B. N. Earthworm populations sampled using collection methods in atlantic forests with *Araucaria angustifolia*. *Scientia Agricola*, v.64, n.4, p.384-392, 2007.

BRUSSAARD, L.; GOEDE, R.G.M. DE; HEMERIK, L.; VERSCHOOR, B.C. Soil biodiversity: stress and change in grasslands under restoration succession., In: *Biological diversity and function in soils*. Ed. BARDGETT, R.D.; USHER, M.B.; HOPKINS, D.W. Cambridge: Cambridge University Press, p. 343-362 , 2005.

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, fev. 2009.

DECAËNS, T., JIMENEZ, J.J., GIOIA, C., MEASEY, G.J., LAVELLE, P. The value of soil animals for conservation biology. *Eur. J. Soil Biol.* 42, S23-S38, ., 2006

DORAN, J.W.; VARVEL, G.E. & CULLEY, J.B.L. Tillage and residue management effects on soil quality and sustainable land management. In: *INTERNATIONAL WORKSHOP ON SUSTAINABLE LAND MANAGEMENT*, p.15-24, 1993.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. B.; CLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F. et al. (Ed.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Soil Society of America, Special Publication, n. 5, p. 3-21, 1994.

DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and Sustainability: managing the biotic component of Soil quality. *Applied Soil Ecology*, v.15, n.1, p.3- 11, 2000.

FARJON, A., 2006. *Araucaria angustifolia*. In: IUCN 2010. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010.3. <www.iucnredlist.org>. Acesso em 02 de Setembro de 2010.

FERRAZ, C.; MOTTA, R. S. Exploração florestal, sustentabilidade e o mecanismo de desenvolvimento limpo. *Ciência e Ambiente*, n.20, p.83-98, 2000.

GONZÁLEZ, G.; HUANG C. Y.; ZOU, X; RODRÍGUEZ, C. Earthworm invasions in the tropics. *Biological Invasions*. v. 8, p.1247-1256, 2006.

LIMA, A. C. R.; HOOGMOED, W.; BRUSSAARD, L. Soil quality assessment in rice production systems: establishing a minimum data set. *Journal of Environmental Quality*. v. 37, p. 623–630, 2008.

LIMA, C.L.R.; PILLON, C.N.; SUZUKI, L. E. A. S.; & CRUZ, L. E.C. Atributos físicos de um planossolo háplico sob sistemas de manejo comparados ao campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, 1849-1855, 2008.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência e Ambiente*, v.27, p.29-48, 2003.

RIBEIRO, M.C., METZGER, J.P.; MARTENSEN, A.C., PONZONI, F., HIROTA, M.; Brazilian Atlantic Forest: how much is left and how is the remaining Forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation* 142, p. 1141-1153, 2009.

SCHMITZ, J. A. K.; SELBACH, P. A.; MIELNICZUK, J. Índice biológico para avaliação da qualidade do solo sob diferentes manejos In: CONGRESSO cobertura vegetal. BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 1. Porto Alegre. Anais...Porto Alegre: PUC/RS, CD-ROM, 2003.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA, Fatos e Números do Brasil Florestal. São Paulo, Sociedade Brasileira de Silvicultura, 93 p., 2008.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA - SSSA. Statement on soil quality. Madison, Agronomy News, 200p., 1995.

STEPNIEWSKI, W.; HORN, R.; MARTYNIUK, S. Managing soil biophysical properties for environmental protection. Agriculture Ecosystems & Environment, v.88, p.175-181, 2002.

2 CAPITULO 2. INDICADORES QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DA
QUALIDADE DO SOLO EM PLANTIOS FLORESTAIS E FLORESTA
OMBRÓFILA MISTA NA EMBRAPA FLORESTAS, COLOMBO-PR

2.1 Resumo

Plantios florestais, como de *Pinus* spp, tiveram grande crescimento no Brasil, nas últimas décadas, diminuindo a exploração de matas nativas, gerando empregos e maior participação no Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil. Contudo, ainda pouco se sabe sobre os efeitos desses plantios nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Este trabalho teve como objetivo, avaliar diversos atributos químicos, físicos e biológicos, indicadores da qualidade do solo, e suas relações com os plantios florestais de *Pinus elliotti* e *Araucaria angustifolia*, em comparação com a mata nativa (Floresta Ombrófila Mista). Foram feitas coletas em quinze áreas, sendo cinco em mata nativa (MN), em CAMBISSOLO e LATOSSOLO, cinco em plantios florestais de *A. angustifolia* (ARA), em CAMBISSOLO e LATOSSOLO e cinco em plantios florestais de *P. elliottii* (PIN), em CAMBISSOLO. Em cada área foram coletadas amostras de solo compostas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm para análise química de rotina. Analisaram-se também diversos parâmetros físicos como granulometria, macro e microporosidade, compactação do solo (penetrometria e densidade aparente) e biológicos (massa da serapilheira e diversidade e abundância de minhocas), Para avaliar as populações de minhocas foi utilizado o método da triagem manual de monólitos (40 × 40 cm) até 20 cm de profundidade. Houve diferença significativa entre os três ecossistemas para a maioria dos atributos químicos e físicos do solo. MN possui solo mais ácido, e o uso agrícola (adubação e calagem) no passado pode ter contribuído para os maiores teores de P, Ca, Mg e aumento do pH do solo nos plantios, principalmente em PIN. A maior resistência à penetração e maior densidade do solo encontrada nas plantações de ARA e PIN, pode ser devido ao uso de máquinas agrícolas para roçar a vegetação espontânea e o maior teor de areia nos solos desses plantios. Houve o predomínio de duas espécies de minhocas: *A. gracilis* na MN, relativamente menos perturbada, onde os solos eram mais úmidos, ácidos e ricos em argila K e C, enquanto *P. corethrurus* predominou nas plantações, onde o pH, densidade aparente, e teores de P e Ca+Mg, eram mais altos. Os melhores indicadores de qualidade do solo foram: H+Al, Ca, Mg, pH, e resistência a penetração

Palavras chave: Atributos químicos, físicos e biológicos do solo, plantios florestais, mata nativa.

2.2 Abstract

Forest plantations, such as those of *Pinus spp.*, had major growth in Brazil in recent decades, reducing the exploitation of native forests, generating jobs and greater participation in the Gross Domestic Product (GDP) of Brazil. However, there is still little information on the effects of the plantations on the soil chemical, physical and biological properties, and of the usefulness of these as indicators of soil quality in plantations. This study evaluated the effects of forest plantations on chemical, physical and biological soil parameters, comparing them to the native mixed ombrophylous (*Araucaria*) forest, and identified the most efficient method for collecting one of the biological attributes: earthworms. Fifteen areas were studied, five with native forest (NF), five with *Araucaria angustifolia* plantations (ARA) and five with *Pinus elliottii* plantations (PIN). In each area, samples were collected at 0-10 cm to assess soil chemical (C, Ca, Mg, K, Na, P, pH, H+Al) properties. Soil physical properties assessed included texture, macro and microporosity and compaction (bulk density and penetration resistance), while biological properties were surface litter biomass and the abundance and diversity of earthworms. Earthworm populations were assessed by handsorting soil monoliths (40 × 40 cm) to 20 cm depth. There were significant differences for most chemical and physical soil properties between the three ecosystems. NF had more acid soil, and former agricultural use (fertilizer and lime) in the plantation soils may have contributed to higher levels of P, Ca, Mg and pH, especially in PIN. Soil compaction was higher in the ARA and PIN plantations and may be due to the use of machinery for mowing weeds as well as higher sand contents. Two species of earthworms predominated: *A. gracilis* in NF, where soils were less disturbed, and had lower pH, higher soil moisture, clay, K and C contents, while *P. corethrurus* predominated in the plantations, that had higher pH, bulk density, P and Ca+Mg contents. The best indicators of soil quality were H+Al, Ca, Mg, C, pH and penetration resistance.

Keywords: Chemical, physical, and biological soil attributes, forest plantations, native forest

2.3 INTRODUÇÃO

Araucaria angustifolia é a espécie mais importante da Floresta Ombrófila Mista, distribuindo-se pela Argentina, Paraguai e Brasil, onde se concentra nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (principalmente nos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul). Originalmente, estas florestas cobriam, no Brasil, uma área de cerca de 250.000 km² e, atualmente, restam apenas 32.000 km², sendo que somente 980 km² são áreas de preservação permanente (RIBEIRO *et al.*, 2009).

Segundo FARJON (2006), a *A. angustifolia* está listada como uma espécie ameaçada de extinção. Durante o século XX, sofreu grande exploração de sua madeira valiosa e também o consumo generalizado de sementes, conhecido no Brasil como “pinhão”. Além disso, as regiões desmatadas no sul do Brasil são amplamente utilizadas para agricultura ou reflorestamento, com espécies exóticas de rápido crescimento, como o *Eucalyptus* spp. e o *Pinus* spp. Essas espécies florestais apresentam boa adaptação edafoclimática e ampla gama de utilização, o que pode diminuir a pressão pela exploração das florestas nativas, contribuindo para a conservação dessas áreas (FERRAZ & MOTTA, 2000).

Em 2007, a área reflorestada no Brasil alcançou 6 milhões de hectares, com quase 2 milhões de hectares plantados com *Pinus* spp., enquanto que apenas 17.500 hectares foram replantados com *A. angustifolia*. O aumento das atividades florestais trouxe benefícios como a geração de empregos e maior participação no Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, mas a conversão de florestas naturais para usos agrícolas ou florestais, como as plantações de espécies exóticas são responsáveis por grandes mudanças na fertilidade do solo e da biodiversidade, geralmente levando à perda de espécies nativas endêmicas, o aparecimento de espécies invasoras e a predominância de espécies exóticas (DECAËNS *et al.*, 2006; GONZÁLEZ *et al.*, 2006).

No entanto, há poucos estudos sobre os efeitos dessas conversões na biodiversidade dos invertebrados e sobre os atributos físicos e químicos do solo, no bioma Mata Atlântica, no Brasil e, principalmente, na região de floresta com *A. angustifolia* (BARETTA *et al.*, 2007).

A qualidade do solo está relacionada à sua capacidade em desempenhar funções que afetam a produtividade de plantas e animais, podendo mudar com o passar do tempo em decorrência de eventos naturais ou uso humano (SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 1995), sendo que, indicadores químicos, físicos e biológicos, podem ser

utilizados para observação da eficácia do funcionamento edáfico (SCHMITZ *et al.*, 2003).

Segundo DORAN & PARKIN (1994), um bom indicador da Qualidade do Solo deve obedecer aos seguintes critérios: estar associado aos grandes processos do ecossistema; integrar propriedades físicas, químicas e biológicas; ser acessível a muitos usuários e aplicável a condições de campo; ser sensível a variações do manejo e do clima e, quando possível, fazer parte de banco de dados.

Diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos foram propostos por DORAN & PARKIN (1994) como fazendo parte da base de dados mínima para indicadores de qualidade de solo. Esses atributos são importantes, pois controlam em grande parte a atividade biológica do solo e o crescimento das raízes, e conseqüentemente a produção vegetal. A avaliação desses atributos, portanto, indica se as condições estão adequadas para o crescimento e o desenvolvimento das plantas e para a manutenção da diversidade de organismos que habitam o solo (DORAN & PARKIN, 1994).

Contudo, a avaliação da qualidade do solo é complexa e deve ser realizada em função de um conjunto de indicadores específicos (atributos) e suas interrelações, já que se tem verificado que indicadores isolados não são suficientes para explicar a perda ou o ganho potencial dos cultivos de determinado solo (CARNEIRO *et al.*, 2009). Portanto, numa avaliação da qualidade do solo, deve-se, preferivelmente, usar uma combinação de atributos de diferentes classes (físicos, químicos e biológicos), representando diferentes funções no ecossistema.

Desta forma, no presente trabalho se escolheram diversos parâmetros físicos (macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, granulometria, resistência à penetração), químicos (pH e a concentração de C, P, K, Ca, Mg, Na, CTC, V%, Al, H+) e biológicos (populações de minhocas e serapilheira) para avaliar a qualidade do solo e as relações entre os atributos químicos, físicos e biológicos com os plantios florestais de *A. angustifolia* e de *P. elliottii*, em comparação com a Floresta Ombrófila Mista.

Nossas hipóteses foram: a) os solos das plantações de *A. angustifolia* e *P. elliottii* são mais compactados e possuem menor macroporosidade que os solos da Floresta Ombrófila Mista, devido ao manejo da área, incluindo o tráfego de máquinas para o controle da vegetação espontânea; b) os solos dos plantios de *A. angustifolia* e *P. elliottii* possuem maiores valores de CTC, macronutrientes e pH que os da Floresta

Ombrófila Mista, devido à fertilização do solo, e à deposição de serapilheira mais homogênea; c) a Mata Nativa possui maior quantidade de matéria orgânica e maior abundância, biomassa e diversidade de minhocas que os plantios florestais, devido à sua maior diversidade vegetal e menor perturbação antrópica.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1 Local de Estudo

O estudo foi realizado na Embrapa Florestas, no município de Colombo- PR, na Estação de Pesquisa, localizada na região metropolitana da cidade de Curitiba (25,19°S, 49,09°W), em uma altitude média de 938 m. Os três sistemas estudados foram: Floresta Ombrófila Mista (Mata Atlântica, com árvores nativas de araucária) (MN), plantios florestais de *A. angustifolia* (ARA) e de *P. elliottii* (PIN). Para cada ecossistema, foram selecionadas cinco áreas, (conforme Figura 1). Os dados sobre tipo de solo, área (ha), idade, DAP e altura dos plantios se encontram na Tabela 1, assim como os dados sobre o tipo de solo e área (ha) dos fragmentos de mata nativa. As áreas de plantio foram utilizadas para a agricultura intensiva experimental (trigo, arroz, feijão, verduras e hortaliças) pelo Ministério da Agricultura até 1978, quando o local foi transferido para a Embrapa. Nestas áreas, também há registros de adubação com fosfato e calagem com farelo de ossos, realizados antes de 1978.

Todas as plantações de *A. angustifolia* e *P. elliottii* foram estabelecidas entre 1980 e 1984. As áreas de mata nativa, provavelmente, haviam sido submetidas a algum distúrbio, como a extração seletiva de madeira antes de 1939, quando a estação de pesquisas foi estabelecida pela primeira vez. No entanto, em longo prazo, a história do uso do solo dessas florestas não é bem conhecida. No momento das coletas (2010), as áreas de MN estavam em estágio avançado de regeneração.

O clima na região é definido como subtropical úmido (Cfb de Köppen), com a maioria da precipitação anual (1400-1500 mm) no verão (Dez-Mar), sendo o mês de agosto o mais seco do ano (71 mm). A temperatura média mensal varia de um máximo de 16,7 °C em fevereiro a 8,4 °C em julho.

2.4.2 Atributos químicos e físicos do solo

As avaliações dos atributos físicos e químicos foram realizadas principalmente nas camadas superficiais do solo.

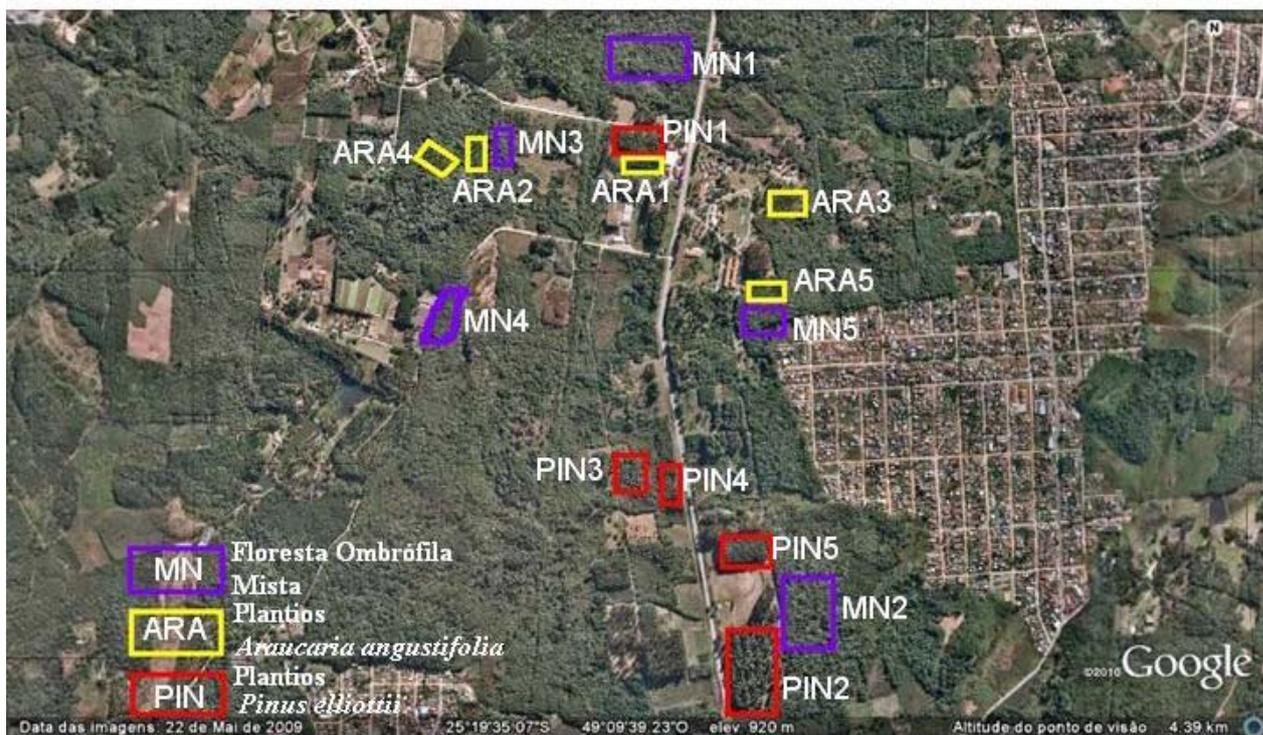


Figura 1- Imagem de satélite com a localização das 5 parcelas de Floresta Ombrófila Mista (MN), 5 parcelas de *Araucaria angustifolia* (ARA) e 5 parcelas de *Pinus elliottii* (PIN), onde foram realizadas as coletas de minhocas, serapilheira e solo, na Estação de Pesquisa, Embrapa Florestas, Colombo – PR.

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, com retirada de amostra de solo com estrutura indeformada num anel (cilindro metálico) de volume conhecido, apenas na superfície do solo (0-5 cm). O anel foi levado ao Laboratório de Física do Solo da UFPR, para ser pesado e colocado para secar em estufa a 105° C, onde permaneceu até secagem completa. Após esta fase, foi determinada a massa seca do material pesando-o novamente, calculando-se o volume, a massa, e a densidade do solo conforme EMBRAPA (1997).

A macro e a microporosidade foram determinadas pelo método da mesa de tensão. O peso correspondente ao volume de água foi retirado sob pressão negativa de 60 cm de coluna d'água, identificando a quantidade de macroporos. A quantidade de microporos foi determinada por meio da secagem na estufa, a 110° C, e pesagem. A porosidade total foi obtida através da soma da macro e da microporosidade, conforme EMBRAPA (1997).

Tabela 1 - Classificação do solo, idade e área, na Floresta Ombrófila Mista (MN), plantios florestais de *A. angustifolia* (ARA) e de *P. elliottii* (PIN), altura e diâmetro a altura do peito (DAP) nos plantios de ARA e PIN. Estação de Pesquisa da Embrapa Florestas, Brasil, Colombo.

Parcela	Classificação do solo*	Idade (anos)	Área (ha)	DAP(cm)	Altura (m)
MN1	CHd	>70	14,9	-----	-----
MN2	CHd e LBd	>70	14,7	-----	-----
MN3	CXvd	>70	7,6	-----	-----
MN4	CHd	>70	17,1	-----	-----
MN5	CHd	>70	5,2	-----	-----
ARA1	CHd	32	0,44	30	14
ARA2	CXvd	32	0,70	40	17
ARA3	CHd e LBd	32	0,98	36	19
ARA4	CXvd	32	0,69	36	20
ARA5	LBd	32	0,55	19	9
PIN1	CHd	32	1,35	50	29
PIN2	CHd	29	4,28	59	27
PIN3	CHd	29	1,12	56	21
PIN4	CHd	29	0,65	58	25
PIN5	CHd	25	1,12	32	25

CAMBISSOLOS HÚMICOS Distróficos (CHd), CAMBISSOLOS HÁPLICOS *Ta Distróficos (CXvd) e LATOSSOLOS BRUNOS Distróficos (LBd). *Ta (argila de atividade alta)

A análise granulométrica foi feita através do método da pipeta, conforme EMBRAPA (1997) e a resistência à penetração foi medida, através de penetrômetro de cone (Field Scout SC 900 Soil Compaction Meter), realizada na camada 0-10 e 10-20 cm do solo.

Foram feitas coletas de solo, compostas (quatro sub-amostras em cinco pontos de cada parcela), para análise química de rotina, realizada no Laboratório de Química do Solo do Departamento de solos e Engenharia Agrícola da UFPR. Avaliaram-se o pH e a concentração de C, P, K, Ca, Mg, Na, CTC, a Saturação por Base, H + Al, seguindo métodos da EMBRAPA (1997).

2.4.3 Atributos biológicos do solo

Os atributos biológicos avaliados foram: massa da serapilheira e a diversidade e abundância de minhocas. As avaliações foram realizadas em março de 2010 (fim do verão).

Foram retiradas cinco amostras de solo para avaliação da comunidade de minhocas, seguindo uma modificação do Método do “TSBF” (Tropical Soil Biology and Fertility) desenvolvido por ANDERSON & INGRAM (1993), cavando-se

monólitos de solo distantes 20 m entre si, com dimensão de 40 x 40 cm. Acima de cada monólito, retirou-se a serapilheira e a vegetação espontânea correspondente à área da coleta (40 x 40 cm), a qual foi levada ao laboratório, secada em estufa a 60 °C por 48 h e pesada para obter peso seco. O solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm foi retirado e realizou-se a extração das minhocas manualmente de cada camada de solo, acondicionando-as em recipientes devidamente identificados, contendo formol a 4%.

As minhocas foram identificadas até o nível gênero ou espécie e quantificadas por área e tipo de vegetação. A estimativa da abundância foi expressa em número de indivíduos por metro quadrado (número de indivíduos m²).

A diversidade de minhocas foi obtida usando Índice de Shannon (H):

$$H = - \sum p_i \cdot \log p_i;$$

Onde, i = espécie de minhoca

$$p_i = n_i/N.$$

n_i = densidade de cada espécie.

N = somatório da densidade de todas as espécies.

2.4.4 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise não-paramétricas por não atenderem aos requisitos de normalidade e de homocedasticidade. Realizou-se, portanto, análise de Kruskal-Wallis, utilizando o software Statistica (Statsoft, 2004). Também foram realizadas: a) análise de componentes principais (ACP) usando as variáveis ambientais explicativas e os parâmetros químicos, físicos e biológicos de cada ecossistema, e b) análise de redundância (RDA), usando a diversidade, riqueza e abundância de espécies de minhocas em cada ecossistema. Para essas análises utilizou-se o programa CANOCO (TER BRAAK & SMILAUER, 1998).

2.5 RESULTADOS e DISCUSSÃO

2.5.1 Atributos químicos do solo

Encontraram-se diferenças significativas em vários atributos químicos do solo entre os ecossistemas avaliados (Tabela 2). As áreas com MN, possuem um pH mais ácido e maior teor de C que as áreas dos plantios. Os teores de K foram maiores na MN e ARA, com relação ao PIN. Os teores de P, Ca e Mg, foram maiores em PIN, apresentando diferença com o plantio de ARA e a MN. A acidez potencial apresentou

diferenças entre os três ecossistemas, sendo maior na MN, seguido da ARA, e menor em PIN.

Tabela 2 - Atributos químicos do Solo, na Floresta Ombrófila Mista (MN), plantios florestais de *A. angustifolia* (ARA) e de *P. elliottii* (PIN). Estação de Pesquisa da Embrapa Florestas, Brasil, Colombo.

Parcelas	pH (CaCl ₂)	Al cmol _c dm ⁻³	H + Al cmol _c dm ⁻³	Ca cmol _c dm ⁻³	Mg cmol _c dm ⁻³	K cmol _c dm ⁻³	P mg dm ⁻³	C g dm ⁻³
MN1	3,9 ab	4,5	16,8 ab	0,8	0,7 b	0,1 ab	4,6	4,7 ab
MN2	3,9 ab	3,7	17,4 ab	0,8	0,8 b	0,1 ab	2,7	6,3 a
MN3	4,2 a	3,4	11,1 b	3,4	2,8 a	0,3 a	2,7	4,0 b
MN4	3,7 b	5,4	24,7 a	0,9	0,9 ab	0,1 b	3,4	5,2 ab
MN5	4,2 a	2,9	15,2 ab	2,5	1,8 ab	0,1 ab	3,3	4,6 ab
Média	4,0 C	4,0 A	17,1 A	1,7 B	1,4 B	0,5 A	3,0 B	4,9 A
ARA1	4,8 a	0,4 c	6,8 b	3,5 a	2,5 a	0,1 ab	5,3 a	3,7 a
ARA2	3,8 bc	7,3 a	17,3 a	1,8 ab	1,3 ab	0,2 ab	2,7 ab	3,1 ab
ARA3	4,5 ab	1,3 b	9,5 ab	2,7 ab	1,4 ab	0,2 ab	3,4 ab	3,6 ab
ARA4	3,8 c	6,9 ab	19,4 a	1,1b	0,8 b	0,3 a	2,5 ab	3,1 ab
ARA5	4,2 abc	2,5 abc	11,5 ab	0,8 b	0,5 b	0,1 b	2,1 b	2,5 b
Média	4,2 B	3,7 A	12,9 B	2,0 B	1,3 B	0,2 A	3,1 B	3,2 B
PIN1	5,0 a	0,3 b	5,9 b	3,9	3,3 a	0,1	7,5 ab	3,4
PIN2	4,4 b	2,0 a	10,6 a	2,1	1,5 b	0,1	2,0 b	3,6
PIN3	4,4 b	1,8 ab	9,3 ab	2,7	1,8 ab	0,1	8,0 ab	3,9
PIN4	4,7 ab	0,8 ab	7,9 ab	4,1	2,3 ab	0,1	17,6 a	4,2
PIN5	4,7 ab	0,6 b	8,6 ab	4,1	2,1 ab	0,0	5,3 ab	3,1
Média	4,7 A	1,1 B	8,5 C	3,4 A	2,2 A	0,1 B	8,1 A	3,6 B

a) Letras minúsculas representam diferenças dentro do mesmo ecossistema; b) letras maiúsculas representam diferenças entre os ecossistemas; c) onde não há letras, significa que não houve diferenças estatísticas através do teste Kruskal-Wallis

Além das diferenças observadas entre os ecossistemas, encontraram-se diferenças significativas em alguns atributos dentro do mesmo ecossistema (Tabela 2): a) Na MN, houve diferenças no pH, entre a MN3 e MN5, comparados à MN4, e também diferenças entre ARA1 e ARA2 e entre ARA1 e ARA4, e em PIN, houve diferenças entre o PIN1 e o PIN2 e PIN3; b) os teores de Al apresentaram diferenças entre a ARA1, ARA2 e ARA3, enquanto no PIN, houve diferenças do PIN1 e PIN5, em relação ao PIN2; c) quanto à acidez potencial (H+Al), houveram diferenças entre a MN3 e MN4, a ARA2 e ARA4 foram diferentes da ARA1, e em PIN, houve diferença entre o PIN1 e o PIN2; d) os teores de Ca apresentaram diferenças entre a ARA1, a ARA4 e ARA5; e) quanto ao Mg, verificou-se que a MN1 e MN2, diferiram da MN3, a ARA4 e ARA5, foram diferentes da ARA1, e em PIN, só houveram diferenças entre o PIN1 e PIN2; f) os teores de K apresentaram diferença entre a MN3 e MN4 e entre a

ARA4 e ARA5; g) a ARA1 e ARA5 apresentaram diferenças quanto aos teores de P, enquanto que no PIN, verificaram-se diferenças entre o PIN2 e PIN4; h) nos teores de C, houveram diferenças entre a MN2 e a MN3, e entre a ARA1 e ARA5.

Embora os solos da maioria das parcelas com PIN tivessem pHs muito baixos, esses tinham teores de Ca variando de médio a alto, teores de Mg muito altos e teores de Al, na maioria das parcelas, variando entre muito baixo e médio, segundo SERRAT *et al.*, (2006), sendo que o mesmo não ocorreu na MN e ARA, para as concentrações de Ca (Tabela 2).

Segundo SCHUMACHER *et al.* (2002), o acúmulo de acículas que ocorre em áreas cultivadas com *Pinus* spp., pode fazer com que os horizontes superficiais do solo apresentem pH mais ácido, fato verificado nos plantios de *P. elliottii* e de *A. angustifolia* no presente estudo, embora as parcelas com MN, apresentaram pH ainda mais baixo que os plantios, provavelmente devido à calagem passada, quando as áreas com PIN e ARA eram utilizadas para agricultura. BECKIE *et al.* (1996), analisando o efeito residual da calagem, em um CHERNOSSOLO com pH ácido, no Canadá, verificaram que, trinta anos após a calagem, o efeito ainda permanecia. Com exceção do PIN1, o pH das outras parcelas ficou abaixo de 5,0, considerado muito baixo por SERRAT *et al.* (2006).

Embora os plantios de ARA tenham recebido calagem e adubação, no passado elas não apresentaram, na maioria das parcelas os mesmos teores de Ca, Mg, P e Al, que as parcelas com os plantios e PIN, provavelmente, devido à maior exigência nutricional da ARA em relação ao PIN. BLUM (1977), comparando *Pinus* spp. e *A. angustifolia*, verificou que a *A. angustifolia*, para um bom desenvolvimento, necessita absorver nutrientes como (fósforo, potássio, cálcio e magnésio) em quantidades superiores ao *Pinus* spp.

O fato de algumas parcelas como a ARA2 e ARA4 (em CAMBISSOLO), estarem em maior declividade, mais sujeitas a perdas por lixiviação e erosão, principalmente logo após o plantio, quando o solo estava mais exposto, também pode explicar os menores teores de Ca, Mg, P e as maiores concentrações de Al e H+Al. O solo mais pobre em Ca, Mg, P e C foi o da ARA5, que tinha árvores de baixo porte, refletindo as condições mais desfavoráveis para seu desenvolvimento (Tabela 2).

De acordo com EMBRAPA (2001), os solos mais adequados para o plantio desta espécie são LATOSSOLOS ROXOS distróficos, profundos, bem drenados, com boa capacidade de retenção de água com altas concentrações de Ca, Mg e textura franca a

argilosa. Apenas uma das parcelas de ARA estavam em LATOSSOLO (BRUNO) e todas as demais estavam em CAMBISSOLO, que são solos pouco desenvolvidos, menos profundos, em condições consideradas menos propícias para seu melhor desenvolvimento.

A maior concentração de C na MN, pode estar relacionada ao menor distúrbio neste ecossistema. De acordo com McGUIRE *et al.* (2002), o estoque de matéria orgânica e carbono no solo são muito afetados por distúrbios naturais, manejo florestal, desmatamento e plantações florestais. Perturbações antrópicas ao sistema solo/vegetação, podem reduzir o teor de carbono e aumentar a degradação da qualidade do solo ao longo do tempo (MATIAS *et al.*, 2002).

Esses resultados confirmam os de MAFRA *et al.* (2008), em Santa Catarina, onde verificaram maiores teores de carbono orgânico no solo, na camada de 0-5 cm na Mata nativa (MN) em relação aos plantios de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*.

Os maiores teores de K foram observados na MN e ARA, sendo significativamente diferentes que no PIN. Segundo MAFRA *et al.* (2008), menores teores de K na camada superficial, em reflorestamentos com *Pinus*, ocorrem em função de sua elevada capacidade de absorção desse elemento. A erosão e a lixiviação, além de diferenças da textura do solo entre as parcelas (sendo mais argilosas na MN, seguida de ARA e menor em PIN) também podem ter contribuído para os menores teores de K nos plantios de PIN e em algumas parcelas com plantios de ARA (Tabela 2 e 3).

A adubação fosfatada, que ocorreu antes dos plantios florestais, pode ter contribuído para os maiores teores de P no solo, encontrados no PIN e ARA. Segundo CATANI (1947), o fósforo, após sua adsorção no solo, continua sendo absorvido durante muitos anos, de maneira muito lenta. Outro fator que pode explicar os maiores teores de fósforo nos plantios é o pH mais alto. Baixos teores de P disponíveis no solo, estão relacionados à baixos valores de pH (CHAVES & CORREA, 2005).

De maneira geral, foram observados maiores concentrações de nutrientes, nos plantios florestais, em comparação com MN, provavelmente devido à adubação e calagem ocorridas no passado, nas áreas com os plantios florestais. Segundo VITOUSEK (1986), mesmo com o grande volume de serapilheira nos ecossistemas naturais, há baixa fertilidade dos solos, em consequência da rápida decomposição do material biogênico e a maior acidez desses solos.

Em florestas plantadas com pinus, a serapilheira é mais espessa, o período de decomposição do material é muito mais prolongado que na floresta natural, além da sua

composição ser diferente nesses dois ambientes, conseqüentemente os solos podem ser diferentes quanto a fertilidade (CHAVES& CORREA, 2005)..

2.5.2 Atributos físicos do solo

A granulometria dos solos nos ecossistemas foi significativamente diferente (Tabela 3). Os teores de argila foram maiores em MN, intermediários em ARA e menores em PIN (Tabela 3). Com relação aos teores de areia, o PIN possui os maiores teores, apresentando diferença em relação à MN e ARA.

Também verificaram-se, entre os três ecossistemas, diferenças significativas na densidade do solo e na resistência à penetração (Tabela 3), sendo que as áreas com PIN, apresentaram os maiores valores, seguidos das áreas com plantios de ARA. Quanto à umidade, encontraram-se diferenças, com MN apresentando maior umidade, seguido da ARA e PIN.

Dentro de cada ecossistema, como observado nos atributos químicos, encontraram-se diferenças significativas em diversos atributos físicos, dentro do mesmo ecossistema (Tabela 3): a) MN1 e MN5 foram diferentes de MN3, com relação à densidade aparente; b) a umidade na MN1 e MN3 foram diferentes, a ARA1 apresentou diferenças em relação à ARA2 e ARA4, que por sua vez, diferiu da ARA5; c) quanto às concentrações de argila, a ARA1 e ARA3, foram diferentes da ARA4, e em PIN, houveram diferenças entre o PIN2 e PIN5; d) somente na ARA, foram verificadas diferenças nos teores de areia entre a ARA1 e ARA4, entre a ARA2 e ARA3 e entre a ARA3 e ARA4; e) a resistência à penetração apresentou diferenças entre a MN1 e MN2, em comparação com a MN4, e na ARA, diferenças foram encontradas entre a ARA1 e ARA3, em comparação com a ARA4; f) com relação à macroporosidade, houveram diferenças apenas na MN1 e MN4, quando comparados com a MN3; g) a microporosidade apresentou diferenças entre a MN4 e MN5, e também entre a ARA2 e ARA4, em relação à ARA5; h) a porosidade total, foi diferente entre a MN3 e a MN4.

Tabela 3 - Resultados da análise dos atributos físicos do solo, na Floresta Ombrófila Mista (MN), plantios florestais de *A. angustifolia* (ARA) e de *P. elliottii* (PIN). Estação de Pesquisa da Embrapa Florestas, Brasil, Colombo -PR.

Parcelas	Densidade aparente (g cm ⁻³)	Umidade (%)	Argila (g kg ⁻¹)	Areia (g kg ⁻¹)	Resistência à penetração (kPa)	Macroporosidade (cm ³ cm ⁻³)	Microporosidade (cm ³ cm ⁻³)	Porosidade total (cm ³ cm ⁻³)
MN1	0,6 b	62,4 a	40,9	39,6	731,9 a	1,2 b	0,5 ab	1,7 ab
MN2	0,8 ab	59,6 ab	42,8	37,6	719,5 a	1,2 ab	0,4 ab	1,7 ab
MN3	1,1 a	47,6 b	40,1	35,5	503,3 ab	1,6 a	0,5 ab	2,1 a
MN4	0,8 ab	52,4 ab	37,0	45,4	358,1 b	1,2 b	0,4 b	1,5 b
MN5	0,7 b	54,0 ab	35,4	40,1	492,0 ab	1,2 ab	0,6 a	1,8 ab
Média	0,8 C	55,2 A	39,2 A	40,0 B	561,0 C	1,3 B	0,5 A	1,8 B
ARA1	1,3	30,6 c	27,2 b	54,2 ab	945,0 a	1,8	0,5 ab	2,2
ARA2	1,1	45,0 ab	41,0 ab	38,0 bc	732,2 ab	1,6	0,6 a	2,2
ARA3	1,1	37,2 abc	27,0 b	56,0 a	949,0 a	1,6	0,5 ab	2,2
ARA4	1,1	52,1 a	45,4 a	35,3 c	495,0 b	1,6	0,6 a	2,2
ARA5	1,4	31,2 bc	34,0 ab	48,0 abc	732,4 ab	1,8	0,4 b	2,1
Média	1,2 B	39,2 B	34,9 B	46,1 A	770,4 B	1,7 A	0,5 A	2,2 A
PIN1	1,4	29,6	28,6 ab	52,9	1030,9	1,8	0,4	2,2 a
PIN2	1,3	35,6	36,6 a	45,1	1010,9	1,7	0,4	2,1 ab
PIN3	1,3	31,4	30,2 ab	45,7	988,3	1,8	0,5	2,2 ab
PIN4	1,2	35,6	28,6 ab	51,7	841,7	1,6	0,5	2,1 ab
PIN5	1,3	28,4	25,0 b	54,5	788,1	1,6	0,3	2,0 b
Média	1,3 A	32,1 C	29,8 C	50,0 A	932,0 A	1,7 A	0,4 B	2,1 A

a) Letras minúsculas representam diferenças dentro do mesmo ecossistema; b) letras maiúsculas representam diferenças entre os ecossistemas; c) onde não há letras, significa que não houve diferenças estatísticas através do teste Kruskal-Wallis

Para a implantação de culturas de interesse econômico, frequentemente é necessária a retirada da vegetação natural (AQUINO *et al.*, 2005). Porém esta prática, associada ao uso de máquinas agrícolas, pode levar a importantes mudanças nas propriedades químicas e físicas (como observado acima) aos solos, frequentemente aumentando a densidade aparente do solo, sua resistência à penetração, e deixando o solo mais exposto aos fatores erosivos da chuva, o que pode mudar a textura e capacidade de retenção de água dos solos. No presente caso, observaram-se diferenças importantes na textura dos solos avaliados e também na umidade, sendo maior na MN que nos plantios de *A. angustifolia* e *P. elliottii*.

Segundo COSTA *et al.* (2003), a maior densidade do solo em plantios florestais também pode estar relacionada ao tempo de utilização das áreas, pouca cobertura do solo no período inicial de crescimento e ao uso de máquinas agrícolas. A permanência da cobertura vegetal sobre o solo pode diminuir a energia cinética imposta pelas gotas da chuva, diminuindo os processos de erosão e a perda de nutrientes e de água (DEDECEK, 1989).

Já o uso de máquinas tanto para o plantio, quanto para a manutenção das parcelas, incluindo o controle (roçadeira) de vegetação espontânea, pode aumentar a compactação do solo. Além dos fatores acima relatados, pode ter contribuído para a maior densidade aparente dos solos nos plantios florestais, a textura mais arenosa do solo. A densidade aparente de solos arenosos, geralmente é maior que em solos argilosos, (MACHADO *et al.*, 2006).

Nas parcelas com MN, além de serem menos antropizadas, também podem ter contribuído para a menor densidade aparente do solo, a maior quantidade de matéria orgânica e os maiores teores de argila. Segundo MELO *et al.* (2003) a matéria orgânica é menos densa em relação aos minerais do solo e favorece a formação de grânulos, reduzindo a densidade aparente do solo. Maiores teores de argila e matéria orgânica podem diminuir o efeito das forças de compactação do solo (FAVARETTO *et al.*, 2006).

Em um estudo conduzido em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELOS, textura argilosa na área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, SILVA *et al.* (2009) verificaram, em relação à vegetação nativa, aumentos na densidade do solo nos plantios de eucalipto e pinus e, também, redução da macroporosidade e aumento na microporosidade no plantio de pinus, concordando parcialmente com os resultados deste trabalho.

Ao contrário de SILVA *et al.* (2009), verificou-se maior macroporosidade e menor microporosidade nos plantios de *P. elliotii*; esta diferença pode ser explicada pela diferença de textura, já que no presente trabalho, as parcelas com *P. elliotii*, possuem solo com textura mais arenosa. Em um trabalho realizado por RIGATTO *et al.* (2005), em Telêmaco Borba, PR, analisando os efeitos dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*, verificaram que nos solos argilosos, os valores de macroporosidade eram em torno de 25% menores do que nos arenosos, naturalmente em função da textura, concordando com os resultados deste trabalho, onde a macroporosidade nas parcelas com MN foi cerca de 23,5% menor que nas parcelas com PIN e ARA.

A maior macroporosidade, maior resistência a penetração, maior densidade aparente, associados a menor concentração de C e as características da vegetação, com maior espaçamento entre as árvores, podem ter contribuído para a menor umidade nas parcelas com os plantios.

2.5.3 Atributos biológicos

Com relação às pinhas e liteira total, encontraram-se diferenças significativas entre a MN e ARA, em relação ao PIN, no que diz respeito à liteira (sem pinhas) e às pinhas, onde o PIN apresentou maiores quantidades. Também houveram diferenças dentro do ecossistema PIN, na quantidade de liteira (sem pinhas), onde o PIN5 foi diferente do PIN4, apresentando em números absolutos, maior quantidade de liteira (sem pinhas) que as demais parcelas com PIN (Tabela 4). Este fato pode ter ocorrido em função do PIN5 ser a parcela mais nova de todas, com maior densidade de árvores, maior densidade de plantio e menor número de desbastes, em comparação com as outras parcelas.

A maior abundância de minhocas foi encontrada nos plantios florestais de *P. elliotii*, com 112 indivíduos m^{-2} , seguido dos plantios florestais de *A. angustifolia*, com 59 indivíduos m^{-2} e Floresta Ombrófila Mista, com 37 indivíduos m^{-2} . A maior biomassa de minhocas foi encontrada nos plantios florestais de *P. elliotii*, com um total de 32 g m^{-2} , seguido dos plantios florestais de *A. angustifolia*, com um total de 26 g m^{-2} , e finalmente da Floresta Ombrófila Mista, com um total de 12 g m^{-2} (Tabela 4).

Tabela 4 - Resultados da análise dos atributos biológicos do solo, na Floresta Ombrófila Mista (MN), plantios florestais de *A. angustifolia* (ARA) e de *P. elliottii* (PIN). Estação de Pesquisa da Embrapa Florestas, Brasil, Colombo.

Parcela	Liteira (sem pinhas) (g m ⁻²)	Pinhas (g m ⁻²)	Liteira total (g m ⁻²)	Densidade minhocas (Indiv. m ⁻²)	Biomassa minhocas (g m ⁻²)	<i>P. corethrurus</i> (Indiv. m ⁻²)	<i>A. gracilis</i> (Indiv. m ⁻²)
MN1	950,0	0,0	950,0	37,5 ab	11,1 ab	3,8 ab	28,8 ab
MN2	832,4	0,0	832,4	60,0 a	20,2 a	12,5 ab	46,3 a
MN3	676,9	0,0	676,9	73,8a	25,1 a	70,0 a	2,5 b
MN4	621,0	0,0	621,0	2,5b	0,9 b	0,0 b	2,5 b
MN5	699,9	0,0	699,9	11,3ab	3,2 ab	2,5 ab	8,8 ab
Média	756,1 B	0,0	756,1 B	37,0 A	12,1 A	17,8 B	17,8 A
ARA1	319,5	0,0	319,5	121,3	66,1 a	109,0	11,3
ARA2	300,2	0,0	300,2	48,0	16,0 ab	48,0	0,0
ARA3	302,1	0,0	302,1	84,0	31,4 ab	78,0	6,3
ARA4	298,9	0,0	298,9	31,3	14,7 ab	6,3	20,0
ARA5	321,4	0,0	321,4	13,8	3,1 b	6,3	3,8
Média	308,4 B	0,0	308,4 B	59,5 A	26,3 A	49,3 A	8,3B
PIN1	1070,9 ab	721,0	1791,8	176,3	57,7	175,0	0,0 b
PIN2	1121,7 ab	526,5	1648,1	201,3	43,5	185,0	16,3 a
PIN3	925,6 ab	689,3	1614,9	16,3	2,8	16,3	0,0b
PIN4	821,0 b	461,1	1282,1	48,8	19,5	46,3	2,5 ab
PIN5	2610,3 a	602,9	3213,2	118,8	34,7	113,8	3,8 ab
Média	1309,9 A	600,1	1910,0 A	112,3 A	31,6 A	107,3 A	4,5 B

a) Letras minúsculas representam diferenças dentro do mesmo ecossistema; b) letras maiúsculas representam diferenças entre os ecossistemas; c) onde não há letras, significa que não houve diferenças estatísticas através do teste Kruskal-Wallis.

A densidade de *P. corethrurus* foi significativamente maior que as demais espécies, em todos os ecossistemas, porém a biomassa desta espécie foi significativamente maior nos plantios de ARA e PIN. Esta espécie representou 50% (MN) a > 95% (PIN) dos indivíduos coletados. A densidade e biomassa da espécie *A. gracilis* foram significativamente maiores na MN do que na ARA e no PIN (Tabela 4).

Não houve diferenças na média de diversidade de espécies de minhocas e riqueza entre os tipos de vegetação (rejeitando, portanto, nossa hipótese c). Além disso, destacou a predominância de duas espécies de minhocas nestes ecossistemas: *A. gracilis* e *P. corethrurus*. Estas espécies são comuns e são bem conhecidas no Brasil (BROWN *et al.*, 2006).

A maior abundância de *A. gracilis* em MN pode ser devido ao maior teor de matéria orgânica, bem como a maior umidade do solo e a menor densidade do solo em comparação com os solos de plantio (Tabela 4). *P. corethrurus* é conhecida como uma espécie de minhoca invasora e é amplamente encontrada nas regiões tropicais da América Latina (FRAGOSO & BROWN, 2007) e do mundo (GATES, 1973). Mais de 150 anos atrás, quando foi descrita no sul do Brasil por MÜLLER (1857), já foi declarado como sendo "a minhoca mais comum neste país", particularmente na "terra arável". Sua presença e sua abundância, em especial no PIN, é um indicador do nível mais elevado de perturbação destas plantações em comparação com MN. Esta espécie pode ter sido introduzida com as árvores, quando as plantações foram estabelecidas utilizando mudas e envasamento solo. A sua baixa abundância em MN pode ser devido ao menor pH do solo, acidez trocável e menor P, Ca e Mg, comparados com os solos das plantações, especialmente PIN (Tabela 2).

2.5.4 Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise de Redundância (RDA)

De acordo com a Análise de Componentes Principais (ACP; Figura 3A), os atributos químicos: Ca; Mg; pH e os atributos físicos; areia, macroporosidade, densidade aparente e resistência à penetração, estão mais associados ao PIN, enquanto os atributos químicos: H+Al; Al; C; K e os atributos físicos: argila; umidade; microporosidade, estão mais associados à MN. Os plantios de ARA estão em uma posição intermediária.

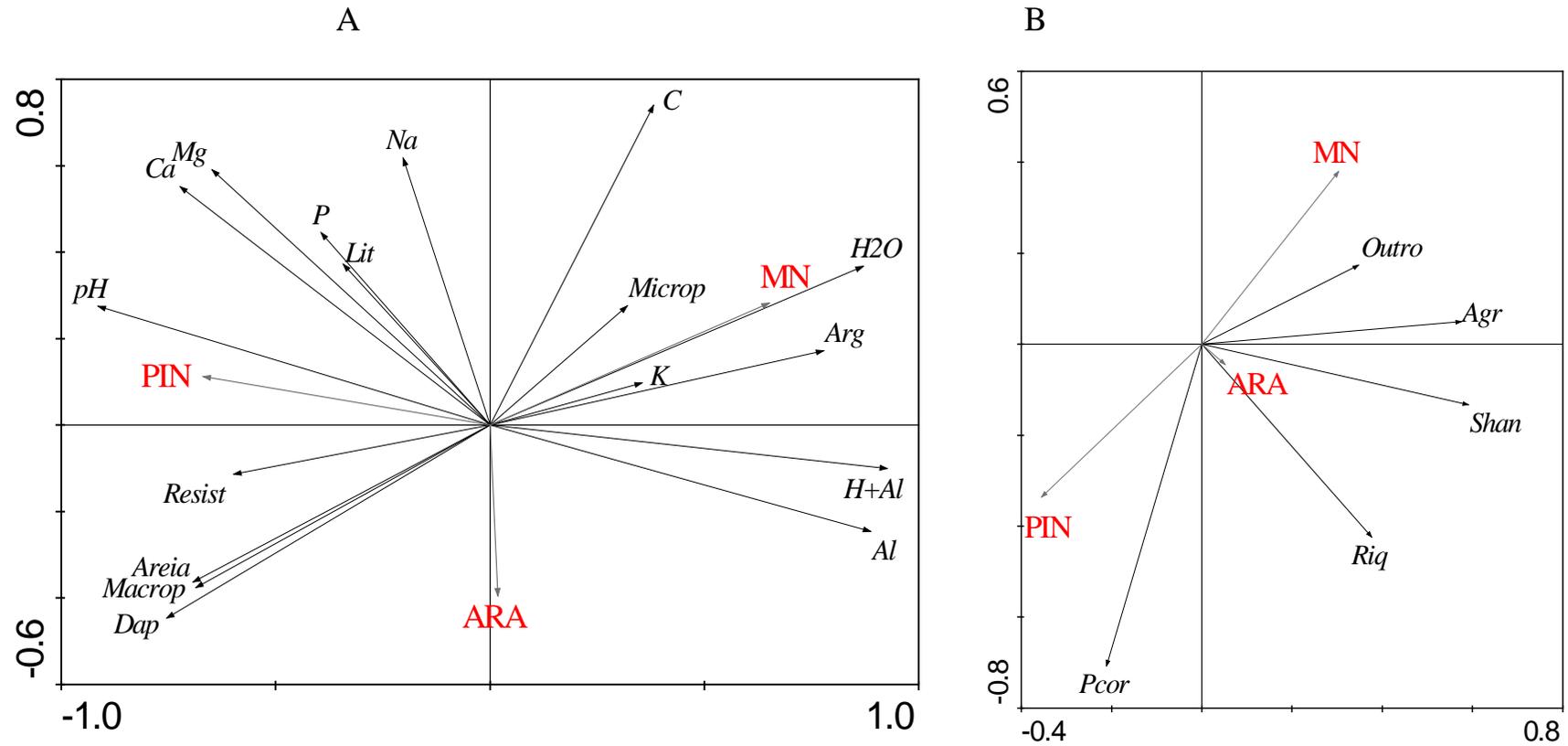


Figura 3. Análise de componentes principais (ACP) usando as variáveis ambientais explicativas e os parâmetros químicos, físicos e biológicos de cada ecossistema (A) Análise de redundância (RDA), usando a diversidade (índice de Shannon), riqueza (número total de espécies), e abundância de espécies de minhocas em cada ecossistema (B).

A Análise de Redundância (RDA; Figura 3B), mostrou que: a) espécie *P. corethrurus* está mais associada ao PIN; b) a espécie *A. gracilis* está mais associada à MN; c) outras espécies de minhocas, riqueza de espécies e diversidade, estão mais associadas à ARA.

2.6 CONCLUSÕES

A retirada da vegetação natural, o uso de máquinas agrícolas, tanto para o plantio, quanto para a manutenção das parcelas, contribuíram para a maior resistência à penetração e maior densidade aparente, nos solos dos plantios florestais de *A. angustifolia* e *P. elliotti*. Além disso, esses solos também tiveram maior macroporosidade, menor umidade e textura mais arenosa.

A espécie *A. gracilis* predominou na Floresta Ombrófila Mista, relativamente menos perturbada, onde os solos eram mais úmidos, ricos em argila K e C, e com pH, densidade aparente, e teores de P e Ca+Mg, mais baixos, enquanto *P. corethrurus* predominou nas plantações, onde anteriormente houve uso agrícola, com melhora no pH e teores de nutrientes.

De acordo com a Análise de Componentes Principais (ACP), os indicadores de qualidade do solo que mostraram maior associação com os ecossistemas analisados foram: H+Al, Ca, Mg, C, pH, umidade, densidade aparente e resistência a penetração.

A Análise de Redundância (RDA) mostrou uma maior associação entre a espécie *P. corethrurus* com os plantios de PIN, enquanto a espécie *A. gracilis* teve maior associação com a MN.

2.7 LITERATURA CITADA

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. 2nd ed. Wallingford: CAB International, 171 p., 1993.

AQUINO, A. M. de; CORREIA, M. E. F. Invertebrados edáficos e o seu papel nos processos do solo. Seropédica:, (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 201), 52 p.,2005.

BARETTA, D.; BROWN, G. G.; JAMES, S.W.; CARDOSO, E. J. B. N. Earthworm populations sampled using collection methods in atlantic forests with *Araucaria angustifolia*. Scientia Agricola, v.64, n.4, p.384-392, 2007.

BECKIE, H.J.; UKRAINETZ, H. Lime amended acid soil has elevated pH 30 years later, Canadian Journal of Soil Science 76, 59-61, 1996.

BLUM, W. E. H. Ecologia da *Araucaria angustifolia* e futuras condições de reflorestamento no Sul do Brasil. Brasil Madeira, Curitiba, v.7, p. 10-12, 1977.

BROWN, G. G.; JAMES, S. W.; PASINI, A.; NUNES, D. H.; BENITO, N. P.; MARTINS, P. T.; SAUTTER, K. D. Exotic, peregrine and invasive earthworms in Brazil: diversity, distribution and effects on soils and plants. Caribbean Journal of Science. 42: 339-358, 2006.

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, fev. 2009.

CATANI, R.A. Contribuição ao estudo dos fosfatos, sua dosagem, extração e distribuição nos solos do Estado de Sao Paulo. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP), Piracicaba, 65p.,1947.

CHAVES, R. de Q.; CORREA, G. F. Macronutrientes no sistema solo-*Pinus caribaea* Morelet em plantios apresentando amarelecimento das acículas e morte de plantas. Rev. Árvore [online]., vol.29, n.5, pp. 691-700. ISSN 0100-6762, 2005.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetada pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.527-535, 2003.

DECAËNS, T., JIMENEZ, J.J., GIOIA, C., MEASEY, G.J., LAVELLE, P. The value of soil animals for conservation biology. Eur. J. Soil Biol. 42, S23-S38, ., 2006

DEDECEK, R.A. Coberturas permanentes do solo na erosão sob condições de cerrado. Pesq. Agropec. Bras., 24:483-488, 1989.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. B.; CLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F. et al. (Ed.). Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Society of America, Special Publication, n. 5, p. 3-21, 1994.

EMBRAPA SOLOS Manual de métodos de análise de solo 2. a ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de solos, 212p., 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Cultivo do pinheiro-doparaná. 2001. Disponível em: [http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinheiro-do_Paraná/Cultivo do PinheirodoParana/sistema/08_solos.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinheiro-do_Paraná/Cultivo%20do%20PinheirodoParana/sistema/08_solos.htm). Acesso em: 14/01/2011.

FARJON, A., 2006. *Araucaria angustifolia*. In: IUCN 2010. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010.3. <www.iucnredlist.org>. Acesso em 02 de Setembro de 2010.

FAVARETTO, N.; COGO, N. P.; BERTOL, O. J. Degradação do solo por erosão e compactação. Diagnóstico e Recomendações de Manejo do Solo, Aspectos teóricos e metodológicos. Marcelo Ricardo de Lima, Ângelo Evaristo Sirtoli. Curitiba: UFPR/Setor de Ciências Agrárias. Capítulo XI, p. 255-292, 2006

FERRAZ, C.; MOTTA, R. S. Exploração florestal, sustentabilidade e o mecanismo de desenvolvimento limpo. Ciência e Ambiente, n.20, p.83-98, 2000.

FRAGOSO, C.; BROWN G. G. Ecología y taxonomía de las lombrices de tierra en Latino-América: el primer Encuentro Latino-Americano de Ecología y Taxonomía de Oligoquetas (ELAETAO1), p. 33-75, 2007.

GATES, G. E. Contributions to North American Earthworms N° 6. Contributions to a revision of the earthworm family Glossoscolecidae. I. *Pontoscolex corethrurus* (Müller, 1857). Bull. Tall Timbers Res. Stn. 14:1-12, 1973.

GONZÁLEZ, G.; HUANG C. Y.; ZOU, X; RODRÍGUEZ, C. Earthworm invasions in the tropics. Biological Invasions. 8:1247-1256, 2006.

MACHADO, M. A. de M.; FAVARETTO, N. Atributos físicos do solo relacionados ao manejo e conservação dos solos. Diagnóstico e Recomendações de Manejo do Solo, Aspectos teóricos e metodológicos. Marcelo Ricardo de Lima, Ângelo Evaristo Sirtoli. Curitiba: UFPR/Setor de Ciências Agrárias. Capítulo X, p. 233-254, 2006.

MAFRA, Á.L., GUEDES, S.de F. F., FILHO, O. K., SANTOS, J. C. P., ALMEIDA, J. A. de, Rosa, J. D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. R. Árvore, Viçosa-MG, v.32, n.2, p.217-224, 2008.

MATIAS, M. I. A. S.; SANTOS, J. A. G.; SILVA, M. I. A.; LIMA, J. A. M. de C. Frações granulométricas da matéria orgânica em solo coeso dos tabuleiros costeiros sob diferentes coberturas vegetais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25. 2002.Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: SBCS/SBM. 2002.

McGUIRE, A. D.; et al. Environmental variation, vegetation distribution carbon dynamics, and water/energy exchange in high latitudes. *Journal of Vegetation Science*, Washington, v. 13, p. 301-314. 2002.

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

MÜLLER, F. II.-Description of a new species of earthworm (*Lumbricus corethrurus*). *Ann. Mag. Nat. Hist.* 20:13-15, 1857.

POGGIANI, F.; MONTEIRO, C.C. Efeito da implantação de maciços florestais na reabilitação do solo degradado pela mineração do xisto betuminoso. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. v.3, p.275-281. Publicado na Silvicultura, n.41, 1990.

RIBEIRO, M.C., METZGER, J.P.; MARTENSEN, A.C., PONZONI, F., HIROTA, M.; Brazilian Atlantic Forest: how much is left and how is the remaining Forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation* 142, p. 1141-1153, 2009.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATTOS, J. L. M. de. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. *R. Árvore*, Viçosa-MG, v.29, n.5, p.701-709, 2005)

SCHMITZ, J. A. K.; SELBACH, P. A.; MIELNICZUK, J. Índice biológico para avaliação da qualidade do solo sob diferentes manejos In: CONGRESSO cobertura vegetal. BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 1. Porto Alegre. Anais...Porto Alegre: PUC/RS, CD-ROM, 2003.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; BARBIERI, S. J. Estimativa do carbono orgânico em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze com 27 anos de idade na região de Quedas do Iguaçu - PR. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25. 2002. Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: SB-CS/SBM. 2002.

SERRAT, B.M.; KRIEGER, K.I.; MOTTA, A.C. Considerações sobre a interpretação de análise de solos. Diagnóstico e Recomendações de Manejo do Solo, Aspectos teóricos e metodológicos. Marcelo Ricardo de Lima, Ângelo Evaristo Sirtoli. Curitiba: UFPR/Setor de Ciências Agrárias. Capítulo VII, p. 125-142, 2006.

SILVA, L.G.da; MENDES I. de C.; JUNIOR, F. B. R.; FERNANDES, M. F., MELO J. T. de; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.44, n.6, p.613-620, jun. 2009.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA - SSSA. Statement on soil quality. Madison, Agronomy News, 200p., 1995.

STATSOFT INC. STATISTICA (Data Analysis Software System), Version 7. SS Inc. www.statsoft.com, 2004.

TER BRAAK, C.J.F. & SMILAUER, P. CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows: Software for canonical community ordination (version 4.0). New York, Microcomputer Power, 1998.

VITOUSEK, P.M.; SANFORD JR., R. L. Nutrient cycling in moist tropical forest. Annual Review of Ecology and Systematics, Palo Alto, v. 17, p. 137-167, 1986.

3 CAPITULO 3. ABUNDÂNCIA E DIVERSIDADE DE MINHOCAS EM
PLANTIOS FLORESTAIS E FLORESTA OMBRÓFILA MISTA USANDO DOIS
MÉTODOS DE COLETA

3.1 Resumo

As minhocas são importantes indicadoras da qualidade ambiental, sendo sensíveis aos impactos causados pela antropização de ecossistemas naturais, como a conversão de áreas com florestas nativas em áreas com plantios florestais de espécies exóticas, como o *Pinus* spp. No entanto, poucas pesquisas têm sido desenvolvidas nesta área, na América Latina. Este trabalho teve como objetivo avaliar, em diferentes áreas com Floresta Ombrófila Mista e plantios florestais de *Araucaria angustifolia* e *Pinus elliottii*, a abundância e a diversidade de minhocas, além de identificar o método mais eficiente para a coleta destes animais. Foram estudadas quinze áreas, sendo cinco com Floresta Ombrófila Mista, cinco com plantios florestais de *A. angustifolia* e cinco com plantios florestais de *P.elliottii*. Em cada área foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm para avaliação da abundância e diversidade de minhocas usando dois métodos: aplicação de 20 L de Formol diluído (0,5%) numa área de 1m²; e escavação e triagem manual de monólitos (40 × 40 cm). Houve o predomínio de duas espécies de minhocas (*Pontoscolex corethrurus* e *Amyntas gracilis*) e apenas cinco espécies foram coletadas em geral. Não foram observadas, entre os métodos de amostragem e entre tipos de vegetação, diferenças na diversidade e riqueza total. *Urobenus brasiliensis*, *Metaphire schmardae*, e uma nova espécie de *Andiorrhinus* foram encontrados em uma densidade e biomassa muito baixa. A densidade e biomassa total de minhocas variou de 0-112 ind. m⁻² e 0-31,6 g m⁻², respectivamente, com valores mais elevados sendo encontrados nas plantações de *P. elliottii*. A triagem manual foi mais eficaz do que o formol para a coleta de minhocas, especialmente a *P. corethrurus* (espécie endogea). Usando o formol, a abundância variou de 9-20 ind. m⁻², sendo mais eficiente apenas para a coleta de *A. gracilis*. Diferenças na abundância de minhocas entre tipos de vegetação foram observadas apenas para *A. gracilis* e *P. corethrurus*. Nestes casos, os usos do solo que ocorreram anteriormente, foram importantes para determinar as comunidades de minhocas presentes: *A. gracilis* predominou nas florestas nativas, relativamente menos perturbadas, onde os solos são mais úmidos, ricos em argila K e C, e apresentaram pH, densidade aparente, P e Ca + Mg, mais baixo, enquanto *P. corethrurus* predominou nas plantações, onde anteriormente houve usos agrícolas, com melhora no pH e teores de nutrientes.

Palavras-chave: Minhocas, formol, triagem manual, Mata Atlântica, plantios florestais, biodiversidade.

3.2 Abstract

Earthworms are important indicators of environmental quality, being sensitive to the impacts of human conversion of natural ecosystems, such as the conversion of native forests to plantations with exotic tree species such as *Pinus* spp. Nevertheless, little research has been conducted in this field in Latin America. The present work aimed to evaluate earthworm populations (abundance and diversity) in native vegetation (*Araucaria* forest), and areas reforested with native (*Araucaria angustifolia*) and exotic (*Pinus elliottii*) tree species, as well as determine the most efficient earthworm collection method. Earthworms were sampled in fifteen areas including five with native *Araucaria* forest, five *A. angustifolia* plantations and five *P. elliottii* plantations. Two sampling methods were used and compared: handsorting of large (40 x 40 cm x 20 cm depth) monoliths, and application of formalin (0.5%). Two species of earthworms predominated (*Pontoscolex corethrurus* and *Amyntas gracilis*) and only five species were collected overall. No differences in diversity or total richness were observed with sampling method and between vegetation types. *Urobenus brasiliensis*, *Metaphire schmaridae*, and a new species of *Andiorrhinus* were found in very low density and biomass. Total earthworm density and biomass ranged from 0 to 112 ind. m⁻² and 0 to 31.6 g m⁻², respectively, with higher values being found in *P. elliottii* plantations. Handsorting was more effective than formalin for collecting earthworms, especially the endogeic *P. corethrurus*. Earthworm abundance using formalin ranged from 9 to 20 ind. m⁻² and appeared only to improve collection of *A. gracilis*. Differences in earthworm abundance between vegetation types were only observed for *A. gracilis* and *P. corethrurus*. In these cases, the former land uses were important in determining the earthworm communities present: *A. gracilis* predominated in the relatively less-disturbed native forests where soils were more moist, richer in clay K and C, and had lower pH, bulk density, P and Ca+Mg contents; while *P. corethrurus* predominated in the plantations, where previous agricultural uses had improved soil pH and nutrient contents.

Keywords: Earthworms, formaldehyde, manual sorting, Atlantic forest, plantations, biodiversity.

3.3 INTRODUÇÃO

Araucaria angustifolia é a espécie mais importante da Floresta Ombrófila Mista, distribuindo-se pela Argentina, Paraguai e Brasil, onde se concentra nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (principalmente nos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul).

Originalmente, estas florestas cobriam, no Brasil, uma área de cerca de 250.000 km² e, atualmente, restam apenas 32.000 km², sendo que somente 980 km² são áreas de preservação permanente (RIBEIRO et al., 2009).

Segundo FARJON (2006), a *A. angustifolia*, também conhecida como o pinheiro do Paraná, está listada como uma espécie ameaçada de extinção. Durante o século XX, sofreu superexploração de sua madeira valiosa e também o consumo generalizado de sementes, conhecido no Brasil como “pinhão”. Além disso, as regiões desmatadas no sul do Brasil são amplamente utilizadas para agricultura ou reflorestamento, com espécies exóticas de rápido crescimento, como o *Eucalyptus* spp. e o *Pinus* spp. Essas espécies florestais apresentam boa adaptação edafoclimática e ampla gama de utilização, o que pode diminuir a pressão pela exploração das florestas nativas, contribuindo para a conservação dessas áreas (FERRAZ e MOTTA, 2000).

A conversão de florestas naturais para usos agrícolas ou florestais, como as plantações de espécies exóticas são responsáveis por grandes mudanças na fertilidade do solo e da biodiversidade, geralmente levando à perda de espécies nativas endêmicas, o aparecimento de espécies invasoras e a predominância de espécies exóticas (DECAËNS et al, 2006; GONZÁLEZ et al, 2006). No entanto, há poucos estudos sobre os efeitos dessas conversões na biodiversidade dos invertebrados e sobre os atributos físicos e químicos do solo, no bioma Mata Atlântica, no Brasil e, principalmente, na região de floresta com *A. angustifolia* (BARETTA et al, 2007).

As minhocas são frequentemente usadas como indicadores biológicos de Qualidade do Solo, por serem organismos sensíveis às condições do solo e seu manejo (SISINNO et al., 2006), perturbação do habitat e à poluição (PAOLETTI, 1999), indicando as condições ambientais, dando uma noção do seu estado atual de conservação e as mudanças ocorridas em função das atividades antrópicas (BROWN et al., 2010). Portanto, o estudo da população de minhocas que vivem nas Florestas de Araucária pode ser importante para compreender os processos do solo nesses ecossistemas, uma vez que as minhocas atuam na decomposição e mineralização da

matéria orgânica e na geração e manutenção da estrutura do solo (LAVELLE & SPAIN, 2001).

Para a coleta de minhocas são utilizados métodos diferentes, dependendo de fatores ambientais, da heterogeneidade do solo, da dificuldade de extração destes animais (RAW, 1959); DECAËNS & ROSSI, (2001), da determinação da quantidade ideal de amostras para estimar o número de espécies por unidade de superfície (GILLER *et al.* 1997; EKSCHEMITT, 1998), da representatividade da amostra (DICKEY & KLADIVKO, 1989) e da diversidade de espécies existentes, exóticas ou nativas. Alguns métodos podem ser mais eficazes que outros, tanto para a determinação da abundância como da diversidade de minhocas.

Em função dessas variáveis, a ISO nº 23611-1 recomenda o uso de duas metodologias para a coleta de minhocas: o método manual e a extração com formol (RÖMBKE, 2007).

Além disso, BARETTA *et al.* (2007) mostraram que o uso de monólitos de grandes dimensões (40 x 40 cm) na Mata nativa é mais eficiente para coletar espécies endogeicas (por exemplo, *Glossoscolex* spp.) e a expulsão com formol para espécies epigeicas e epi-endogeicas (por exemplo, *Amyntas corticis* e *Urobenus brasiliensis*).

Portanto, este estudo foi realizado para identificar o método mais eficaz (triagem manual vs formol) para coletar minhocas em áreas de Floresta Ombrófila Mista e plantios de *A. angustifolia* e *P. elliotti*, e avaliar a abundância e a diversidade de minhocas nesses ecossistemas, visando seu uso como indicadores da qualidade do solo.

Nossas hipóteses eram que: a) triagem manual seria mais eficaz na coleta de minhocas, resultando em maior abundância em todos os ecossistemas, em comparação com o método de expulsão com formol; b) a maior abundância e biomassa de minhocas seriam encontradas na Mata Nativa, em comparação com os plantios florestais; c) a maior diversidade de minhocas seriam encontradas na Mata Nativa, em comparação com os plantios florestais.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Local de Estudo

O estudo foi realizado na Embrapa Florestas, no município de Colombo, na Estação de Pesquisa - PR, localizada na região metropolitana da cidade de Curitiba (25,19°S, 49,09°W), em uma altitude média de 938 m. Os três sistemas estudados

foram: Floresta Ombrófila Mista (Mata Atlântica, com árvores nativas de araucária) (MN), plantaios florestais de *A. angustifolia* (ARA) e plantios florestais de *P. elliottii* (PIN). Para cada ecossistema, foram selecionadas cinco áreas. O tamanho das plantações variou de 0,5 a 4 ha, enquanto que o tamanho dos fragmentos de floresta nativa foi >18 ha. As áreas de plantio foram utilizadas para a agricultura intensiva experimental (trigo, arroz, feijão, verduras e hortaliças) pelo Ministério da Agricultura até 1978, quando o local foi transferido para a Embrapa. Nestas áreas, também há registros de adubação com fosfato e calagem com farelo de ossos.

Todas as plantações de Araucária e *Pinus* foram estabelecidas entre 1979 e 1984. As áreas de floresta nativa provavelmente haviam sido submetidas a algum distúrbio, como a extração de madeira antes de 1939, quando a estação de pesquisas foi estabelecida pela primeira vez. No entanto, em longo prazo, a história do uso do solo dessas florestas não é bem conhecida. No momento das coletas (2010) as áreas de MN estavam em estágio avançado de regeneração.

Três tipos de solo principais foram encontrados nestas quinze áreas: CAMBISSOLO HÚMICO, CAMBISSOLO HÁPLICO e LATOSSOLO BRUNO. As características físicas e químicas desses solos e suas diferenças estão apresentadas na Tabela 5. O clima na região é definido como subtropical húmido (Cfb de Köppen), com a maioria da precipitação anual (1400-1500 mm) no verão (Dez-Mar), sendo o mês de agosto o mais seco do ano (71 mm). A temperatura média mensal varia de um máximo de 16,7 °C, em fevereiro a 8,4 °C, em julho.

O desenho experimental do trabalho foi um fatorial de 3 (ecossistemas/tipo de vegetação) x 2 (métodos de coleta) com 5 repetições para cada ecossistema e 5 amostras em cada área.

3.4.2 Métodos de coleta de minhocas

Os métodos para coleta de minhocas foram o de expulsão com formol e o de catação manual, sendo que todas as minhocas foram coletadas em março de 2010 (fim do verão). A distância entre cada amostra foi de aproximadamente 20 metros, enquanto que a distância entre os pontos de cada método diferente foi de 5 metros.

Tabela 5 - Características do solo na Floresta Ombrófila Mista (MN), plantios florestais de *A. angustifolia* (ARA) e de *P. elliottii* (PIN). Estação de Pesquisa da Embrapa Florestas, Colombo.

Parcela	Classes de solo	Argila (%)*	Areia (%)	Textura†	Densidade (g cm ⁻³)	pH CaCl ₂ (0.01 mol.L ⁻¹)	C (g dm ⁻³)	P (mg dm ⁻³)	K -----	Ca (cmolc.dm ⁻³)	Mg --	H + Al
MN	Cambissolo, Latossolo	39,17 a	39,63 b	CL	0,81 c	3,97 c	49,3a	2,97b	0,51 a	1,68 b	1,40 b	17,04 a
ARA	Cambissolo, Latossolo	34,86 b	46,13 b	SCL	1,19 b	4,22 b	31,9b	3,11b	0,24 a	1,97 b	1,30 b	12,91 b
PIN	Cambissolo	29,80 c	49,99 a	SCL	1,30 a	4,66 a	36,2b	8,07a	0,06 b	2,43 a	2,20 a	8,48 c

*Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna, não diferem (P <0,05), pelo teste de Kruskal-Wallis.

†CL=Franco-Argiloso (MN), SCL= Franco-Argilo-Arenoso (ARA e PIN).

3.4.3 Método de Expulsão com Formol 0,5%

Uma solução contendo 250 mL de formol em 20 L de água foram aplicados com auxílio de um regador à superfície de 1 m² de solo após a retirada da serapilheira. Este procedimento foi realizado em cinco repetições em cada uma das quinze áreas. As minhocas que saíram na superfície do solo foram coletadas e acondicionadas em recipientes devidamente etiquetados, contendo formol a 4%.

3.4.4 Método de Catação Manual

No método de catação manual foram retiradas cinco amostras de solo para avaliação da comunidade de minhocas, seguindo uma modificação do Método do “TSBF” (Tropical Soil Biology and Fertility) desenvolvido por ANDERSON & INGRAM (1993), cavando-se monólitos de solo distantes 20 m entre si, com dimensão de 40 x 40 cm², com a retirada da serapilheira correspondente à área da coleta e o solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Em seguida, foi feita a extração das minhocas de cada camada de solo e acondicionamento em recipientes devidamente identificados, contendo formol a 4%.

3.4.5 Identificação das Minhocas

A identificação das minhocas foi realizada até o nível gênero ou espécie e quantificada por área, tipo de vegetação e método de coleta. Para a identificação em nível de espécie, foi utilizado o microscópio estereoscópico com aumento de 100x.

3.4.6 Determinação da abundância e diversidade de minhocas

A abundância foi expressa em número de indivíduos por metro quadrado (número de indivíduos m²).

A diversidade de minhocas foi obtida pelo Índice de Shannon (H) usando a fórmula:

$$H = - \sum p_i \cdot \log p_i;$$

Onde i = espécie de minhoca

$$p_i = n_i/N.$$

n_i = densidade de cada espécie.

N = somatório da densidade de todas as espécies.

3.4.7 Análises estatísticas

Por não atenderem aos requisitos de normalidade e de homocedasticidade (presença elevada de valores iguais a zero), análises de variância (ANOVA) não foram realizadas. Portanto, os dados foram submetidos à análises não-paramétricas Kruskal-Wallis, com a utilização do software R (RDC team, 2006), para comparar a abundância e biomassa das espécies, sua riqueza e diversidade em tipos de vegetação e Mann-Whitney U-testes foram realizadas utilizando o software Statistica (STATSOFT, 2004), para comparar os mesmos parâmetros de amostragem e os efeitos do método dentro de cada tipo de vegetação.

3.5 RESULTADOS e DISCUSSÃO

3.5.1 Abundância, diversidade e biomassa de minhocas

Através dos dois métodos de coleta, foram encontradas cinco espécies de minhocas, sendo as nativas *Urobenus brasiliensis*. e *Andiorrhinus* sp., a *Pontoscolex corethrurus*, uma espécie peregrina e as exóticas *Amyntas gracilis* e *Metaphire schmardae*, não havendo diferença na diversidade de espécies (Shannon) ou de riqueza entre os ecossistemas ou de métodos de amostragem. A riqueza média variou de 1,2 (MN, PIN) para 1,3 (ARA) espécies por amostra, sendo que 4 espécies foram encontradas na MN e ARA e 5 espécies no PIN. Portanto, somente uma pequena parcela das 17 espécies conhecidas (G.G. BROWN e JAMES S.W., dados não publicados) foram coletadas nas 150 amostras.

As espécies mais abundantes foram *P. corethrurus*, uma espécie peregrina e *A. gracilis*, uma espécie exótica. Estas duas espécies representaram 53 e 45% do total de indivíduos coletados (n=1988) em geral, respectivamente. Alguns indivíduos de *Urobenus brasiliensis* (n=11) e *Metaphire schmardae* (n=33), e uma *Andiorrhinus* sp., com ~ 20 cm de comprimento foram coletados, mas representaram <4% do total das minhocas encontradas em todas as áreas.

A densidade total de minhocas variou de 0 a 112 indivíduos m⁻² e biomassa de 0 a 31,6 g m⁻². Com a utilização do método formol a maior abundância de minhocas foi encontrada na MN, com 20 indivíduos m⁻², seguida de PIN com 15,76 indivíduos m⁻² e ARA com 11,56 indivíduos m⁻². A maior biomassa foi encontrada na MN com 8,26 g m⁻², seguida de ARA com 6,53 g m⁻² e PIN com 6 g m⁻².

Com o método manual, a maior abundância de minhocas foi encontrada em PIN com 112,25 indivíduos m^{-2} , seguido de ARA com 59,5 indivíduos m^{-2} e MN com 37,0 indivíduos m^{-2} . A maior biomassa de minhocas foi encontrada em PIN com um total de 31,6 g m^{-2} , seguido de ARA, com um total de 26,22 g m^{-2} , e finalmente a MN com um total de 12,08 g m^{-2} .

Um efeito significativo do método de amostragem sobre a densidade de minhocas total (figura 4) e biomassa (figura 5) foi observado em ARA e PIN, sendo que as diferenças não foram significativas na MN, com o método formol mostrando menores valores totais que o método manual. Com o formol a densidade total foi baixa, variando de 9 (ARA) a 20 (MN) indivíduos m^{-2} , enquanto que com a triagem manual, a densidade e a biomassa foram muito maiores, variando de 37 indivíduos m^{-2} e 12,1 g m^{-2} na MN a 112 indivíduos m^{-2} e 31,6 g m^{-2} no PIN (Fig. 4 e 5).

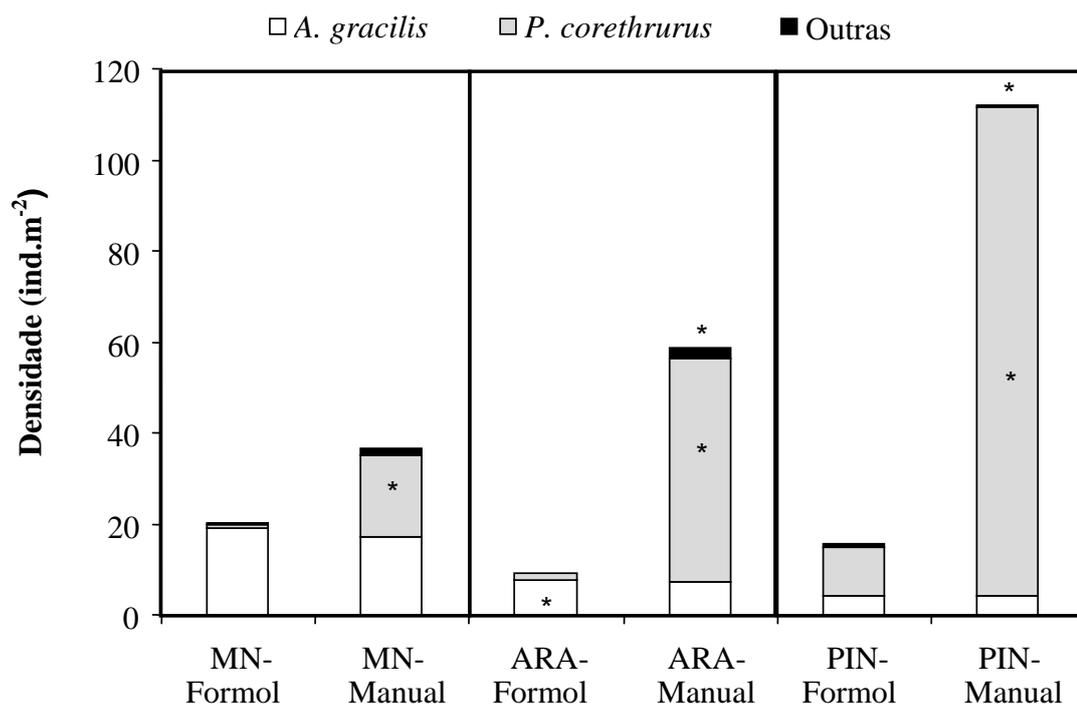


Figura 4 - Densidade (nº. indivíduos m^{-2}) de espécies de minhocas (*A. gracilis*, *P. corethrurus* e outras) coletadas em março de 2010, usando os métodos Formol (0,5%) e triagem manual de monólitos (40 x 40 cm), em Floresta Ombrófila Mista (MN), em plantios de *Araucaria angustifolia* (ARA), e em plantios de *Pinus elliottii* (PIN). Estação de Pesquisa da Embrapa Florestas, Colombo. Asteriscos denotam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os métodos de abundância das espécies ou a abundância total, utilizando o teste Mann-Whitney.

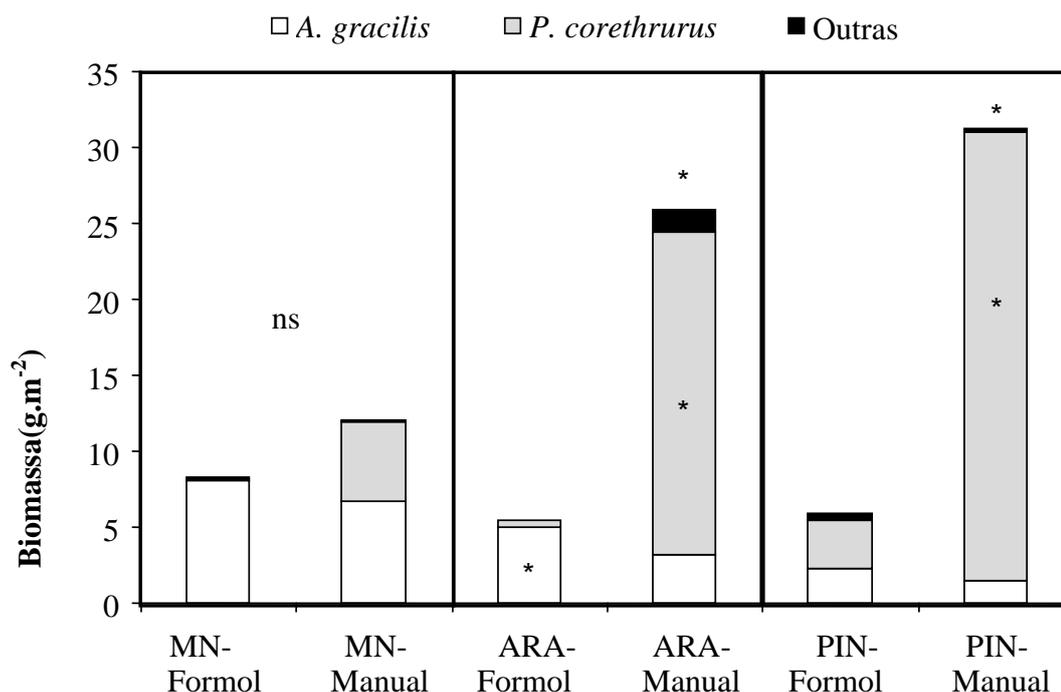


Figura 5. Biomassa (g m⁻²) de espécies de minhocas (*A. gracilis*, *P. corethrurus* e outras) coletadas em março de 2010, usando os métodos Formol (0,5%) e triagem manual de monólitos (40 x 40 cm), em Floresta Ombrófila Mista (MN), em plantios de *Araucaria angustifolia* (ARA), e em plantios de *Pinus elliotii* (PIN). Estação de Pesquisa da Embrapa Florestas, Colombo. Asteriscos denotam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os métodos de abundância das espécies ou à abundância total, utilizando o teste Mann-Whitney.

A densidade de *P. corethrurus* foi significativamente maior em todos os ecossistemas, quando coletados por meio de triagem manual em comparação com a expulsão com formol, porém a biomassa desta espécie foi significativamente maior nos plantios de ARA e PIN. Esta espécie representou 50% (MN) a > 95% (PIN) dos indivíduos coletados por meio de triagem manual. A densidade e a biomassa das outras espécies encontradas (*M. schmardae*, *U. brasiliensis* e *Andriorrhinus sp.*) não foi afetada pelos métodos de amostragem em qualquer um dos ecossistemas.

A densidade e biomassa da espécie *A. gracilis* foi maior com o método formol, na MN e ARA, sendo a mais abundante (773 do total de 1155 indivíduos) coletados com este método, o que representa mais de 80% dos indivíduos na MN e ARA, embora a *P. corethrurus* tenha sido dominante (aprox. 70% dos indivíduos) no PIN.

Comparando os três ecossistemas dentro de cada método de amostragem, não houve diferenças na abundância total de minhocas que foram encontradas, e os efeitos

só foram observados para as espécies, separadamente. Com a triagem manual, a densidade e biomassa de *A. gracilis* foram significativamente maiores na MN do que na ARA e no PIN, enquanto ambos, biomassa e densidade de *P. corethrurus*, foram significativamente maiores no PIN e ARA que na MN (Figuras 6 e 7). Com a expulsão de formol, a densidade de *A. gracilis* foi significativamente maior na MN que em ARA e PIN (Figura 6), enquanto que a biomassa dessa espécie foi maior na MN e ARA que no PIN (Figura 7). Ambos, biomassa e densidade de *P. corethrurus*, foram significativamente maiores no PIN que em ARA e MN (Figuras 6 e 7). Não foram encontradas diferenças na densidade e biomassa das espécies entre outros tipos de vegetação usando os dois métodos de amostragem.

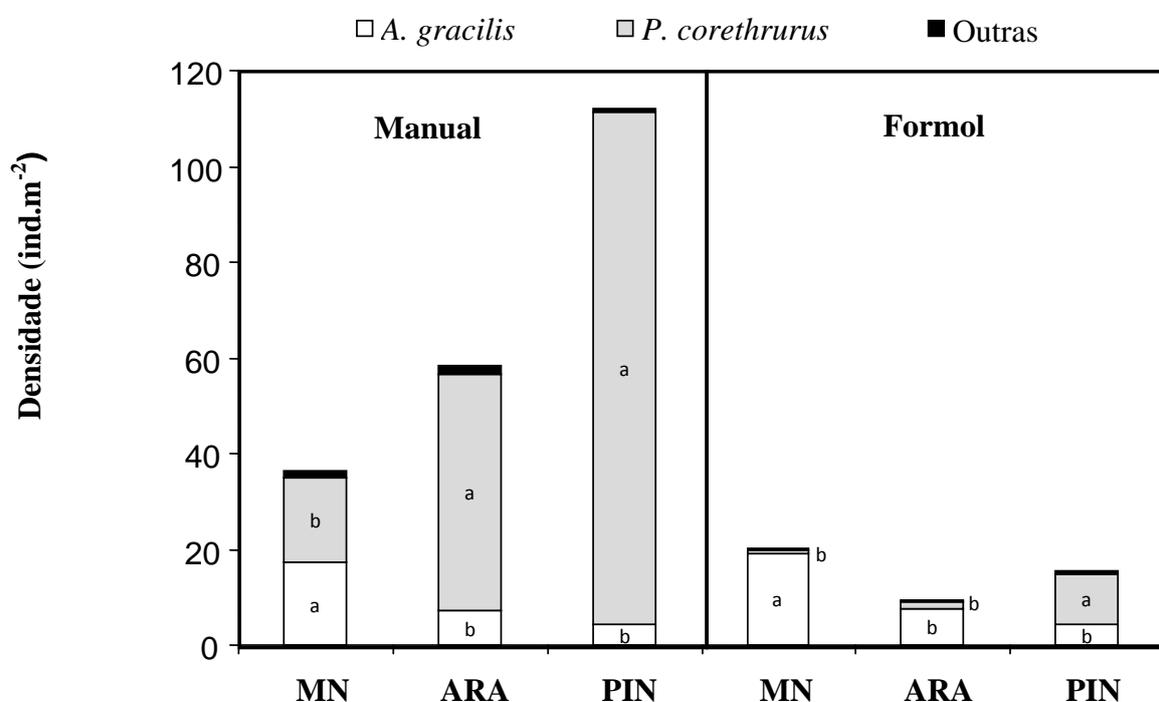


Figura 6. Densidade (nº. indivíduos m⁻²) de espécies de minhocas (*A. gracilis*, *P. corethrurus* e outras) coletadas em março de 2010, usando os métodos Formol (0,5%) e triagem manual de monólitos (40 x 40 cm), em Floresta Ombrófila Mista (MN), em plantios de *Araucaria angustifolia* (ARA), e em plantios de *Pinus elliottii* (PIN). Estação de Pesquisa da Embrapa Florestas, Colombo. Letras diferentes, entre os tipos de vegetação, dentro de cada método de amostragem, denotam diferenças significativas (P < 0,05), utilizando o teste Kruskal-Wallis.

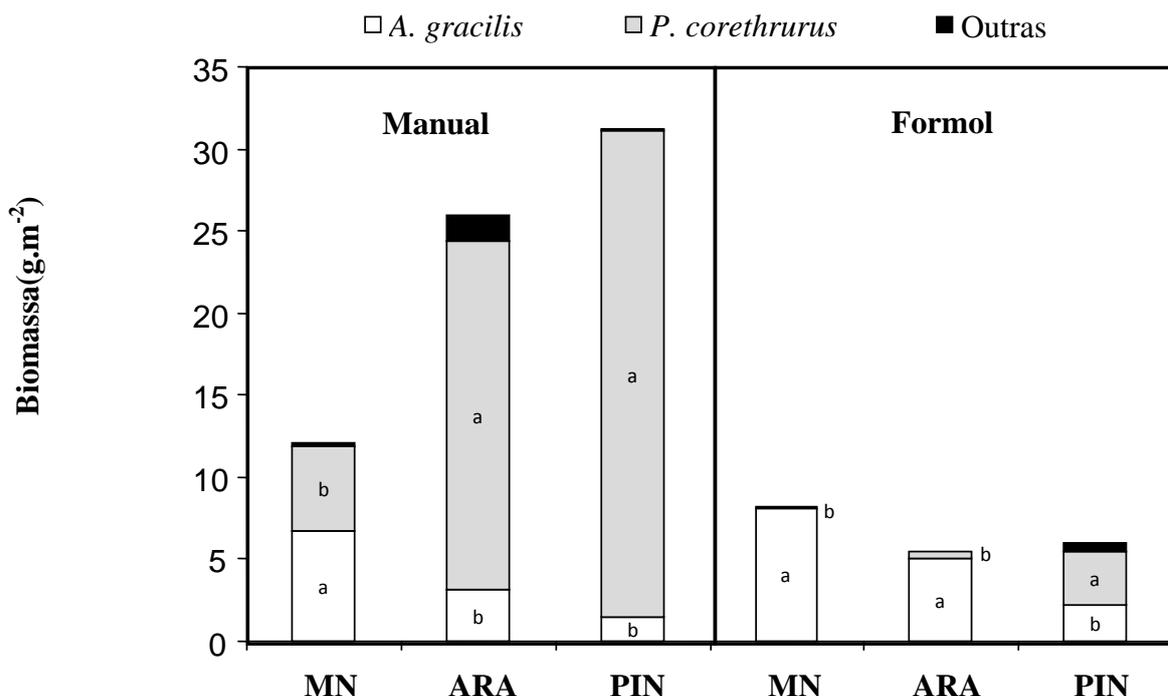


Figura 7. Biomassa (g m^{-2}) de espécies de minhocas (*A. gracilis*, *P. corethrurus* e outras) coletadas em março de 2010, usando os métodos Formol (0,5%) e triagem manual de monólitos (40 x 40 cm), em Floresta Ombrófila Mista (MN), em plantios de *Araucaria angustifolia* (ARA), e em plantios de *Pinus elliotii* (PIN). Estação de Pesquisa da Embrapa Florestas, Colombo. Letras diferentes entre os tipos de vegetação dentro de cada método de amostragem denotam diferenças significativas ($P < 0,05$), utilizando o teste Kruskal-Wallis.

Este estudo de populações de minhocas em Floresta Ombrófila Mista, em plantios de *A. angustifolia* e plantios de *P. elliotii* não encontrou diferenças na média de diversidade de espécies de minhoca e riqueza entre os tipos de vegetação e métodos de amostragem (rejeitando, portanto, nossa hipótese 3). Além disso, destacou a predominância de duas espécies de minhocas nestes ecossistemas: *A. gracilis* e *P. corethrurus*. Estas espécies são comuns e são bem conhecidas no Brasil (BROWN *et al.*, 2006).

A maior abundância de *A. gracilis* em MN pode ser devido ao maior teor de matéria orgânica, bem como a maior umidade do solo e a menor densidade do solo em comparação com os solos de plantio (Tabela 2). *P. corethrurus* é conhecida como uma espécie de minhoca invasora e é encontrada nas regiões tropicais da América Latina (FRAGOSO e BROWN, 2007) e do mundo (GATES, 1973). Mais de 150 anos atrás, quando foi descrita do sul do Brasil por MÜLLER (1857), já foi declarado como sendo "a minhoca mais comum neste país", particularmente na "terra arável". Sua presença e

sua abundância, em especial no PIN, é um indicador do nível mais elevado de perturbação destas plantações em comparação com MN. Esta espécie pode ter sido introduzida com as árvores, quando as plantações foram estabelecidas utilizando mudas e solo envasado. A sua baixa abundância em MN pode ser devido ao menor pH do solo, acidez trocável e menor P, Ca e Mg, comparados com os solos das plantações, especialmente PIN (Tabela 5).

Como as plantações já haviam sido utilizadas para fins agrícolas, pode haver um efeito residual da calagem e adubação nesses solos, em comparação com a MN. Os solos dos plantios, especialmente PIN também tiveram menor teor de argila, maior teor de areia e densidade do solo (relacionado às diferenças texturais dos solos). Além disso, a biomassa alta ($> 30 \text{ g m}^{-2}$) da espécie, em especial no PIN significa que ele pode estar tendo efeitos importantes sobre as propriedades físicas e químicas e de processos, bem como o crescimento das plantas nestes sistemas de plantio (BROWN *et al.*, 1999), algo que deve ser investigado no futuro.

Entre as outras espécies encontradas, somente a *U. brasiliensis* e *Andiorrhinus* sp. são espécies nativas; *U. brasiliensis* foi encontrado principalmente na MN e ARA (10 dos 11 indivíduos), enquanto *Andiorrhinus* sp. só foi encontrada no PIN. *M. schmardae*, também uma espécie exótica, foi encontrada mais frequentemente no PIN (15 ind) e MN (12 ind) do que na ARA (6 ind). A ausência das outras espécies conhecidas da estação de pesquisa da Embrapa (GG BROWN e JAMES SW, dados não publicados) é provavelmente devido a sua baixa abundância (em especial *Fimoscolex* e *Glossoscolex* spp.) e preferência por nichos específicos (por exemplo, *Ocnerodrilidae* e *Lumbricidae* spp.) que não foram incluídos na amostragem atual (áreas baixas alagadas, dentro e embaixo de troncos em bromélias).

O maior número de minhocas coletadas nos plantios de PIN e ARA confirmam a hipótese 1, que a triagem manual produz maior abundância de minhocas que a expulsão de formol, embora isso não fosse observado na MN. Além disso, os efeitos sobre as espécies de minhocas foram diferentes: *P. corethrurus* foi a principal espécie responsável pelo efeito sobre a recuperação total de minhoca com triagem manual. *A. gracilis*, por outro lado, foi melhor amostrado com a expulsão de formol na MN e ARA. Resultados semelhantes foram relatados para coleta de *A. gracilis* em áreas de Mata Atlântica no município de Londrina, Paraná (AZEVEDO *et al.*, 2010) e para *Amyntas corticis*, por BARETTA *et al.* (2007), nas florestas de araucária, no estado vizinho de São Paulo.

O comportamento epi-endogeico destas espécies significa que elas produzem galerias mais perto da superfície do solo, e muitas vezes possuem galerias tocas ligadas à superfície, tornando-as mais propensas a ser expulsas com formol. O mesmo também vale para *M. schmardae* e *U. brasiliensis*, embora a abundância destas espécies não foi afetada pelo método de amostragem. Por outro lado, o comportamento endogeico de *P. corethrurus* e sua atividade pouco frequente na superfície do solo significa que elas são menos sensíveis à aplicação de formol.

A menor eficiência de formol vs. triagem manual, observado aqui, pode ser um fenômeno mais generalizado na América Latina e particularmente nos trópicos, onde predominam endogeicas e onde as espécies epigeicas e anécicas (mais sensíveis à expulsão com formol) são menos frequentes (LAVELLE, 1983). Isso pode ser agravado em ecossistemas mais perturbados, especialmente agroecossistemas, onde endogeicas predominam, e onde poucas espécies epigeicas/anécicas são encontradas (FRAGOSO *et al.*, 1999).

Apesar das diferenças que encontramos entre os métodos de amostragem, não houve diferenças na abundância total de minhocas, entre os ecossistemas, portanto, levando à rejeição da hipótese 2. No entanto, foram observadas diferenças nas populações de algumas espécies de minhocas, sobretudo *A. gracilis* e *P. corethrurus*, de modo que a hipótese 2 poderia ser parcialmente aceita.

A utilização de dois métodos de amostragem foi recomendada pela norma ISO 23611-1 (RÖMBKE, 2007) e BARETTA *et al.* (2007), principalmente porque as comunidades de minhocas geralmente contêm diferentes categorias ecológicas em um único local, e porque a triagem manual nem sempre é eficaz para a captura de espécies epi-endogeica como *Amyntas* ou anécicas como *Lumbricus terrestris*, que geralmente são capturadas melhor com formol. Portanto, a combinação dos dois métodos tende a produzir melhores resultados.

No entanto, uma vez que a composição da comunidade torne-se mais conhecida, métodos de amostragem podem ser adaptados para melhor atender o conjunto de espécies locais. No trabalho atual, esperávamos obter uma maior abundância de *Amyntas* spp., e essa foi a principal razão para o uso de formol em conjunto com triagem manual para a caracterização da comunidade de minhocas. No entanto, o uso adicional de formol teve muito pouco efeito. Somente para *A. gracilis* na MN e na ARA houve um ligeiro aumento significativo com o uso do formol para coletar minhocas. Em geral, portanto, para as condições avaliadas, a triagem manual foi suficiente para

caracterizar adequadamente a comunidade de minhoca, e para estudos de monitoramento em longo prazo.

Triagem manual é geralmente considerada o método mais eficiente para coletar minhoca, mas este é um método destrutivo e demorado (BARTLETT *et al.*, 2010). Esta é outra razão pela qual os métodos comportamentais, tais como a aplicação de mostarda ou expulsão com outros produtos químicos ou mesmo o uso de eletricidade têm sido freqüentemente propostos como alternativas. Além disso, estes métodos são baratos, rápidos e fisicamente não-destrutivos. No entanto, estes métodos dependem fortemente das condições do solo e são mais eficientes quando o solo está úmido e não compactado. Além disso, o formol é cancerígeno e conhecido por ter efeitos colaterais negativos na flora e fauna do solo (EICHINGER *et al.*, 2007;. COJA *et al.*, 2007).

Finalmente, considerando os resultados apresentados, e a predominância geral de endogeicas em muitos ecossistemas alterados e até mesmo naturais nos trópicos e na América Latina, é provável que a expulsão com formol terá valor limitado para os estudos quantitativos (sendo mais útil para estudos qualitativos) e que a triagem manual continuará a ser o método de amostragem preferencial nestas regiões.

3.6 CONCLUSÕES

Houve maior abundância e riqueza específica de minhocas nos plantios de *P. elliottii*;

O método manual foi igual (*Amyntas*) e mais eficaz (*Pontoscolex*) para a coleta de minhocas, em comparação com método com formol;

As florestas nativas tinham solo mais ácido e menos propício para *Pontoscolex*;

O uso agrícola (adubação e calagem) no passado, promoveu populações de *Pontoscolex* nos plantios.

3.7 LITERATURA CITADA

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. 2nd ed. Wallingford: CAB International, 171 p., 1993.

AZEVEDO, P.T.M.; BROWN, G.G.; BARETTA, D.; PASINI, A.; NUNES, D.H.. Populações de minhocas amostradas por diferentes métodos de coleta (elétrico, químico e manual) em ecossistemas da região de Londrina, Paraná, Brasil. Acta Zool. Mex. (n.s.). Núm. Esp. 2, 79-93, 2010.

BARETTA, D.; MAFRA, Á.L.; SANTOS, J.C.P.; AMARANTE, C.V.T.; BERTOL, I. Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.41, p.1675-1679, 2006.

BARETTA, D.; BROWN, G.G.; JAMES, S.W.; CARDOSO, E.J.B.N. Earthworm populations sampled using collection methods in atlantic forests with *Araucaria angustifolia*. Scientia Agricola, v.64, n.4, p.384-392, 2007.

BARTLETT, M.D.; BRIONES, M.J.I.; NEILSON, R.; SCHMIDT, O.; SPURGEON, D.; CREAMER, R.E.; A critical review of current methods in earthworm ecology: from individuals to populations. Eur. J. Soil Biol. 46, 67-73, 2010.

BROOKES, P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. Biol. Fert. Soils, 19:269-279, 1995.

BROWN, G.G; PASHANASI, B.; VILLENAVE, C.; PATRÓN, J.C; SENAPATI, B.K.; GIRI, S.; BAROIS, I.; LAVELLE, P.; BLANCHART, E.; BLAKEMORE; R. J.; SPAIN, A.V.; BOYER, J. Efeitos das minhocas sobre a produção vegetal nos trópicos. In: Lavelle, P., Brussaard, L., Hendrix, P.F. (Eds.), gestão de minhoca em agroecossistemas tropicais. CAB International, Wallingford, p. 87-147, 1999.

BROWN, G.G.; JAMES, S.W.; PASINI, A.; NUNES, D.H.; BENITO, N.P.; MARTINS, P.T.; SAUTTER, K.D. Exotic, peregrine and invasive earthworms in

Brazil: diversity, distribution and effects on soils and plants. *Caribbean Journal of Science*. 42: 339-358, 2006.

BROWN, G.G.; DOMINGUEZ, J. Uso das minhocas como bioindicadoras ambientais: princípios e práticas – o 3º Encontro Latino Americano de Ecologia e Taxonomia de Oligoquetas (ELAETAO3). *Acta Zoológica Mexicana (nueva série)*, No. especial 2, 26:1-18, 2010.

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, fev. 2009.

COJA, T.; ZEHETNER, K.; BRUCKNER, A.; WATZINGER, A.; MEYER, E. Efficacy and side effects of five sampling methods for soil earthworms (Annelida, Lumbricidae). *Ecotox. Environ. Saf.* 71, 552–565, 2008.

DECAËNS, T.; ROSSI, J.P. Spatio-temporal structure of earthworm community and soil heterogeneity in a tropical pasture. *Ecography*, v.24, p. 671-682, 2001.

DECAËNS, T., JIMENEZ, J.J., GIOIA, C., MEASEY, G.J., LAVELLE, P. The value of soil animals for conservation biology. *Eur. J. Soil Biol.* 42, S23-S38, ., 2006

DICKEY, J.B.; KLADIVKO, E.J. Sample unit size and shapes for quantitative sampling of earthworm populations in crop lands. *Soil Biology and Biochemistry*, v.21, p.105-111, 1989.

DORAN, J.W.; VARVEL, G.E. & CULLEY, J.B.L. Tillage and residue management effects on soil quality and sustainable land management. In: *INTERNATIONAL WORKSHOP ON SUSTAINABLE LAND MANAGEMENT*, p.15-24, 1993.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.B.; CLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. (Ed.). Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Society of America, Special Publication, n. 5, p. 3-21, 1994.

DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, v.15, n.1, p.3- 11, 2000.

EDWARDS, C.A. The assessment of populations of soil-inhabiting invertebrates. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.34, p. 145-176, 1991.

EICHINGER, E.; BRUCKNER, A.; STEMMER, M. Earthworm expulsion by formalin has severe and lasting side effects on soil biota and plants, *Ecotox. Environ. Saf.* 67, 260–266, 2007.

EKSCHIMITT, K. Population assessments of soil fauna: General criteria for the planning of sampling schemes. *Applied Soil Ecology*, v.9, p.439-445, 1998.

EMBRAPA SOLOS Manual de métodos de análise de solo 2^a. ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de solos, 212p., 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Cultivo do pinheiro-doparaná. 2001. Disponível em: [http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinheiro-do-Paraná/Cultivo do PinheirodoParana/sistema/08_solos.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinheiro-do-Paraná/Cultivo-do-PinheirodoParana/sistema/08_solos.htm). Acesso em: 14/01/2011.

FARJON, A. *Araucaria angustifolia*. In: IUCN 2010. IUCN Red List of Threatened Species, 2006. Version 2010.3. <www.iucnredlist.org>. Acesso em 02 de Setembro de 2010.

FERRAZ, C.; MOTTA, R. S. Exploração florestal, sustentabilidade e o mecanismo de desenvolvimento limpo. *Ciência e Ambiente*, n.20, p.83-98, 2000.

FRAGOSO, C.; BROWN, G.; BLANCHART, E.; LAVELLE, P.; PASHANASI, B.; SENAPATI, B.; KUMAR, T. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of earthworms. *Applied Soil Ecology*, v. 6, p. 17-35, 1997.

FRAGOSO, C.; LAVELLE, P.; BLANCHART, E.; SENAPATI, B.K.; JIMÉNEZ, J.J.; MARTINEZ, M.A.; DECAËNS, T.; TONDOH, J. Earthworm communities of tropical agroecosystems: origin, structure and influence of management practices. In: Lavelle, P., Brussaard, L., Hendrix, P. (Eds.), *Earthworm management in tropical agroecosystems*. CABI, Wallingford, pp. 27-55, 1999.

FRAGOSO, C.; BROWN G.G. Ecología y taxonomía de las lombrices de tierra en Latino-América: el primer Encuentro Latino-Americano de Ecología y Taxonomía de Oligoquetas (ELAETAO1), p. 33-75, 2007.

GATES, G.E. Contributions to North American Earthworms N° 6. Contributions to a revision of the earthworm family Glossoscolecidae. I. *Pontoscolex corethrurus* (Müller, 1857). *Bull. Tall Timbers Res. Stn.* 14:1-12, 1973.

GILLER, K.E.; BEARE, M.H.; LAVELLE, P.; IZAC, A.M.N.; SWFIT, M.J. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology*, v.6, p.3-16, 1997.

GONZÁLEZ, G.; HUANG C. Y.; ZOU, X.; RODRÍGUEZ, C. Earthworm invasions in the tropics. *Biological Invasions*. v. 8, p.1247-1256, 2006.

JAMES, S.W. BROWN, G.G. Earthworm ecology and biodiversity in Brazil. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD, L. (Ed). *Soil biodiversity in Amazonian and other Brazilian ecosystems*. Wallingford: CAB International, p.56-116, 2006.

LAVELLE, P. The structure of earthworm communities. In: Satchell, J.E. (Ed.), Earthworm ecology: from Darwin to vermiculture. Chapman and Hall, London, pp. 449-466, 1983.

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

LIMA, C.L.R.; PILLON, C.N.; SUZUKI, L.E.A.S.; & CRUZ, L.E.C. Atributos físicos de um planossolo háplico sob sistemas de manejo comparados ao campo nativo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32,1849-1855, 2008.

MÜLLER, F. II.-Description of a new species of earthworm (*Lumbricus corethrurus*). Ann. Mag. Nat. Hist. 20:13-15, 1857.

PAOLETTI, M.G. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. Agric. Ecosyst. Environ. 74, 137-155, 1999.

RAW, F. Estimating earthworm populations by using Formalin. Nature, London, v. 184, p. 1661-1662, 1959.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. Ciência e Ambiente, v.27, p.29-48, 2003.

RIBEIRO, M.C., METZGER, J.P.; MARTENSEN, A.C., PONZONI, F., HIROTA, M.; Brazilian Atlantic Forest: how much is left and how is the remaining Forest distributed? Implications for conservation. Biological Conservation 142, p. 1141-1153, 2009.

RÖMBKE, J. Searching for a standardization of quantitative terrestrial oligochaete sampling methods. The ISO methodology. In: BROWN, G.G.; FRAGOSO, C. (Ed.). Minhocas na América Latina: Biodiversidade e ecologia. Londrina: Embrapa Soja, p. 497-503, 2007.

SCHMITZ, J.A.K.; SELBACH, P.A.; MIELNICZUK, J. Índice biológico para avaliação da qualidade do solo sob diferentes manejos In: CONGRESSO cobertura vegetal. BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 1. Porto Alegre. Anais...Porto Alegre: PUC/RS, CD-ROM, 2003.

SISINNO, C.LS; BULUS, MR; RIZZO, AC; MOREIRA, J.C. Ensaio de comportamento com minhocas (*Eisenia fetida*) para avaliação de áreas contaminadas: resultados preliminares para contaminação por hidrocarbonetos. Journal of The Brazilian Society of Ecotoxicology, v. 1, n. 2, p. 41-44, 2006.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA, Fatos e Números do Brasil Florestal. São Paulo, Sociedade Brasileira de Silvicultura, 93 p., 2008.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA - SSSA. Statement on soil quality. Madison, Agronomy News, 200p., 1995.

STATSOFT INC. STATISTICA (Data Analysis Software System), Version 7. SS Inc. www.statsoft.com, 2004.

STEPNIEWSKI, W.; HORN, R.; MARTYNIUK, S. Managing soil biophysical properties for environmental protection. Agriculture, Ecosystems & Environment, v.88, p.175-181, 2002.

TER BRAAK, C.J.F. & SMILAUER, P. CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows: Software for canonical community ordination (version 4.0). New York, Microcomputer Power, 1998.

4 CAPÍTULO 4 –CONCLUSÃO GERAL

O manejo das áreas com os plantios de *A. angustifolia* e *P. elliotii*, contribuíram para a maior resistência à penetração e maior densidade aparente, nos solos destas áreas, onde também verificou-se maior macroporosidade, menor umidade e textura mais arenosa.

A espécie *A. gracilis* predominou na Floresta Ombrófila Mista, relativamente menos perturbada, onde os solos eram mais úmidos, ricos em argila K e C, e com pH, densidade aparente, e teores de P e Ca+Mg, mais baixos, enquanto *P. corethrurus* predominou nas plantações, onde anteriormente houve uso agrícola, com melhora no pH e teores de nutrientes.

H+Al, Ca, Mg, C, pH, umidade, densidade aparente e resistência a penetração, foram os indicadores de qualidade do solo mais importantes, nos ecossistemas.

A maior abundância e riqueza específica de minhocas, foi verificada nos plantios de *P. elliotii*;

Para a coleta de *A. gracilis*, os métodos manual e formol foram igualmente eficazes, para a coleta de *P. corethrurus*, o método manual foi mais eficaz que o formol.