

FLORA OSAKI

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE MICRORGANISMOS E FERTILIDADE
EM SOLOS DE DOIS ECOSSISTEMAS FLORESTAIS:
FLORESTA OMBRÓFILA MISTA E POVOAMENTO FLORESTAL COM
COM *Pinus taeda* L. EM TIJUCAS DO SUL-PR.**

CURITIBA

2008

FLORA OSAKI

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE MICRORGANISMOS E FERTILIDADE
EM SOLOS DE DOIS ECOSISTEMAS FLORESTAIS:
FLORESTA OMBRÓFILA MISTA E POVOAMENTO FLORESTAL
COM *Pinus taeda* L. EM TIJUCAS DO SUL-PR.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais.

Orientador:

Prof. Dr. Sylvio Péllico Netto

Co-Orientador:

Dr. Edilson Batista de Oliveira

CURITIBA

2008

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Sylvio Péllico Netto, Decano do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), pelo trabalho extraordinário de dimensão pedagógica, técnica e científica da história acadêmica e, pela oportunidade **honrosa** de ser sua orientada. Seu **empenho profissional** entendendo minhas preocupações, e **me apoiando de maneira incansável**, e, com **quem aprendi** que: “a via bloqueada instiga o teimoso viajante a abrir nova estrada”, sem dúvida alguma, foram as principais razões para que este projeto fosse concretizado.

Ao Pesquisador Científico da EMBRAPA Dr. Edilson Batista de Oliveira, pela demonstração expressiva de apoio e amizade. A este profissional que **não mede esforços**, e mostra toda a habilidade profissional para ajudar a todos, meus **sinceros agradecimentos e minha profunda admiração**.

Ao Engenheiro e Ambientalista Dr. Sérgio Erdelyi, pelo **apoio** dando-nos suporte ao desenvolvimento deste estudo desde o início das atividades e, nos fornecer informações **valiosas** sobre os ecossistemas florestais.

À Eng^a Agr^a Prof^a Andréa Weckerlin (MSc), ao Estatístico Professor Saulo Weber (MSc), Professor Dr. Jair Dionísio (UFPR), e à Dra. Rosa T. S. Frighetto e Dr. Pedro J. Valarini da EMBRAPA MEIO AMBIENTE (Jaguariúna-SP), pelos **ensinamentos e valiosas sugestões**, sem os quais, essa pesquisa estaria **incompleta**.

Aos Profs. da PUCPR: Dr. Airton Rodrigues Diretor do Curso de Agronomia, Dr. Rodrigo Távora Mira Diretor do Curso de Medicina Veterinária, Dr. Humberto Madeira, Diretor do Curso de Biotecnologia; ao Professor Dr. Roberto Hosokawa (UFPR), Prof. Dr. Carlos Augusto Parchen da PUC-EMATER/PR, Eng^a Florestal Lorena Stolle (MSc) e Eng^o Florestal Alexandre Beutling (MSc), que sempre promoveram a consciência e a adesão dos estudiosos em sustentar ambientes propícios ao **estudo e à criatividade**, através da ciência e **tecnologias inovadoras**. A todos, aos quais devo a **energia e a vontade** cada vez maior de **prosseguir** na minha caminhada.

Ao Eng^o Agr^o Jacson Scroccaro e ao Biólogo Érico Emed Kauano, pelo **inestimável apoio** durante a implantação e desenvolvimento das atividades.

À Coordenação e seus respectivos Assessores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (UFPR), pela compreensão e nos propiciar todas as condições para que o Curso fosse efetivado de **forma harmoniosa e com qualidade**.

Às funcionárias laboratoristas e secretárias da PUCPR – Campus São José dos Pinhais, pela valiosa colaboração, **sempre** com muita disposição.

Ao **PELD**, pelo apoio financeiro, sem o qual essa pesquisa não teria sido possível.

À **Pontifícia Universidade Católica do Paraná** (PUCPR), por nos dar crédito em investir no processo “**aprender e conhecer mais**”, como a **melhor maneira** de aumentar a produtividade pessoal e institucional.

Dessa forma, tenho a satisfação e o orgulho de tornar público o meu mais elevado **reconhecimento de gratidão** aos meus **familiares e profissionais** que me incentivaram a assumir a função e os cargos,

modestos, mas dinamizados com muita **seriedade** e **alegria**.

A **todos**, que me oportunizaram levar adiante nossas ações e nos encorajaram, espero contribuir com este trabalho, apesar de saber que esse foi apenas a base inicial na área de solos florestais, tendo portanto, muitos **desafios** pela frente, pois com certeza, ainda, há muito a fazer na pesquisa, acreditar e realizar. **Obrigada!**

BIOGRAFIA DA AUTORA

FLORA OSAKI filha de Yoshiyuki Osaki e Chiyoe Osaki, nasceu em Curitiba, Estado do Paraná.

Com o auxílio de **seus pais e irmãos** concluiu o curso de Agronomia da Universidade Federal do Paraná (UFPR) durante o dia, e o Curso de Sociologia, Política e Administração Pública (PUCPR) no turno da noite. Enquanto estudante, além de trabalhar na agricultura, vendia diariamente como atacadista o produto hortigranjeiro produzido, para feiras e mercearias durante as madrugadas antes de ir à Universidade. Ao mesmo tempo, o trabalho na Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná (SEAB), engrossou a renda para pagar seus estudos, e permitiu criar e desenvolver o Primeiro Programa de Olericultura do Estado do Paraná a nível técnico e de pesquisa. Dando continuidade à carreira na SEAB, agora, concursada como engenheira agrônoma, tornou-se assessora de algumas Estações Experimentais da Instituição, onde outras culturas (café, soja, trigo, arroz, milho, feijão e plantas forrageiras como alfafa, azevém, capim colonião e elefante, cornicão e ervilhaca, além de pinus e azeitona), fizeram parte das atividades desenvolvidas nos municípios do interior do Estado, o que lhe deu a oportunidade de conhecer as terras paranaenses, bem como implantar um dos primeiros Centros de Climatologia do Estado.

Posteriormente, retornando à Curitiba a convite do Sr. Secretário da Agricultura do Estado e, assumindo a supervisão geral do Laboratório de Análise de Sementes do Paraná (Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas do Paraná, atual TECPAR) e a Assessoria do Departamento de Produção Vegetal da SEAB do Paraná, lhe permitiu reestruturar com bases mais sólidas a área da Pesquisa Vegetal do Estado. A seguir, o ingresso através de convite e concurso, ao Primeiro Programa do Plano Nacional de Sementes do Ministério da Agricultura (PLANASEM), diretamente de Brasília – Distrito Federal e logo depois, o convite do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), a fez realizar novo concurso desta vez para pesquisador, onde, além de implantar o Centro de Biometria e Processamento de Dados (informática), aplicada à pesquisa agrosilvopecuária do Estado, foi coordenadora (Diretora) do mesmo centro e, pesquisadora da área de solos,

através dos quais, teve a oportunidade de conhecer e fazer treinamentos em diversas instituições de pesquisa de outros países como o Centro Internacional de Agricultura Tropical.

É ainda autora de livros na área agrônômica, tendo publicado temas como microbacias – práticas de conservação de solos, agricultura e pecuária, calagem e adubação e, olericultura. A convite do governo do Japão realizou palestras em algumas Universidades sobre Fertilidade dos Solos Tropicais e Pastagens de Clima Subtropical.

Em 2005 recebeu o Prêmio Cidade de Curitiba como destaque na área da pesquisa.

É Professora do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Pontifícia Universidade Católica (PUCPR) desde 1997, sendo ainda, responsável pelo Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas Cultivadas do mesmo Centro.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMO.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
1 INTRODUÇÃO.....	01
1.1 HIPÓTESES.....	03
1.2 OBJETIVOS.....	04
1.2.1 Objetivo Geral.....	04
1.2.2 Objetivos Específicos.....	04
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	06
2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS FLORESTAS.....	06
2.1.1 Floresta Ombrófila Mista	07
2.1.2 Povoamento de <i>Pinus taeda</i> Linnaeus.....	08
2.2 DIVERSIDADE DOS MICRORGANISMOS DO SOLO.....	09
2.2.1 Bactérias	12
2.2.2 Actinomicetos	14
2.2.3 Fungos.....	18
2.2.4 Microrganismos Celulolíticos.....	20
2.2.5 Microrganismos Solubilizadores de Fosfato.....	21
2.2.6 Ocorrência e Distribuição Espacial dos Microrganismos no Solo.....	25
2.3 CICLO BIOGEOQUÍMICO.....	30
2.3.1 Ciclagem de Nutrientes em Ecossistemas Florestais.....	30
2.3.2 Atividade Microbiológica.....	32
2.3.3 Fatores que Influenciam a Atividade Microbiológica.....	33
2.3.4 Fertilidade de Solos Florestais e Requerimento Nutricional.....	44
2.4 HORIZONTES ORGÂNICOS.....	63
2.5 BIOMASSA MICROBIANA.....	69
2.5.1 Estimação da Biomassa Microbiana.....	73
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	87
3.1 SÍNTESE GERAL.....	87
3.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	88
3.3 CLIMA.....	89
3.4 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES.....	90
3.4.1 Caracterização ambiental das áreas experimentais.....	91
3.4.2 Caracterização da geomorfologia e geologia dos ecossistemas: Floresta Ombrófila Mista e povoamento de <i>P. taeda</i>	92
3.4.3 Caracterização toposequencial e classificação de solos das áreas experimentais.....	93
3.5 DELIMITAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL E DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES.....	96
3.5.1 No campo.....	97
3.5.2 Preparo das Amostras para Análises Laboratoriais.....	105
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	120
4.1 EFEITO DOS ECOSSISTEMAS FLORESTA OMBRÓFILA MISTA E POVOAMENTO FLORESTAL COM <i>P. taeda</i> SOBRE A VARIÁVEL UMIDADE.....	122
4.2 CONDIÇÃO NUTRICIONAL DA SERAPILHEIRA – FLORESTA OMBRÓFILA MISTA E POVOAMENTO FLORESTAL COM <i>P. taeda</i> ...	129
4.2.1 Cálcio.....	129
4.2.2 Magnésio.....	133
4.2.3 Nitrogênio.....	135

4.2.4	Fósforo.....	136
4.2.5	Potássio.....	138
4.3	EFEITO DOS ECOSSISTEMAS FLORESTA OMBRÓFILA MISTA E POVOAMENTO FLORESTAL COM <i>P. taeda</i> SOBRE A VARIÁVEL FERTILIDADE NA ZONA DE TRANSIÇÃO E SOLO.....	141
4.3.1	pH de um extrato aquoso em CaCl ₂	142
4.3.2	Acidez potencial (H ⁺ + Al ³⁺).....	146
4.3.3	Alumínio (Al cmol _c dm ⁻³).....	149
4.3.4	Cálcio + Magnésio (Ca+Mg cmol _c dm ⁻³).....	153
4.3.5	Cálcio (Ca ²⁺ cmol _c dm ⁻³).....	158
4.3.6	Magnésio (Mg ²⁺ cmol _c dm ⁻³).....	161
4.3.7	Potássio (K ⁺ cmol _c dm ⁻³).....	165
4.3.8	Fósforo (P mg dm ⁻³).....	169
4.3.9	Matéria Orgânica (MO g dm ⁻³).....	173
4.3.10	Soma de Bases (SB cmol _c dm ⁻³).....	177
4.3.11	Capacidade de Troca de Cátions a pH 7,0 ou CTC Total ou T cmol _c dm ⁻³	181
4.3.12	Saturação por Bases V%.....	185
4.3.13	Saturação por Alumínio - m%.....	188
4.4	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EM SOLOS SOB FLORESTAS.....	193
4.4.1	Areia % (2,0 - 0,02- mm).....	193
4.4.2	Silte% (0,02 mm – 0,002 mm)	196
4.4.3	Argila% (< 0,002 mm).....	199
4.4.4	Comparação entre os teores de areia, silte e argila.....	202
4.4.5	Análise da Fertilidade Química.....	204
4.5	EFEITO DOS ECOSSISTEMAS FLORESTA OMBRÓFILA MISTA E POVOAMENTO FLORESTAL COM <i>P. taeda</i> SOBRE OS MICRORGANISMOS.....	209
4.5.1	Bactérias.....	210
4.5.2	Fungos.....	216
4.5.3	Actinomicetos.....	221
4.5.4	Microrganismos Solubilizadores de Fosfato.....	224
4.5.5	Microrganismos Celulolíticos.....	228
4.5.6	Comparação das populações de microrganismos entre a Floresta Ombrófila Mista e o povoamento com <i>P. taeda</i> L.....	232
4.6	BIOMASSA MICROBIANA.....	236
5	CONCLUSÃO.....	241
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	243

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 –	Variáveis explicativas, tratamentos e repetições utilizadas.....	97
TABELA 02 –	Composição do meio de cultura Celulose-Asparagina-Ágar (CAA) para determinação dos microrganismos celulolíticos.....	112
TABELA 03 –	Composição do meio de cultura GES – Extrato de solo – sais orgânicos para determinação dos microrganismos solubilizadores de fosfato.....	113
TABELA 04 –	Composição do meio de cultura CDA – Caseinato-Dextrose–Ágar para determinação de actinomicetos.....	114
TABELA 05 –	Composição do meio de cultura de Thorton para determinação de bactérias.....	115
TABELA 06 –	Composição do meio de cultura de Martin para determinação de fungos.....	116
TABELA 07 –	Teor de umidade (%) em três blocos, três profundidades e duas estações do ano, em Floresta Ombrófila Mista, Tijucas do Sul, PR.....	122
TABELA 08 –	Teor de umidade (%) em três blocos, três profundidades e duas estações do ano, em povoamento florestal com <i>P. taeda</i> , Tijucas do Sul, PR.....	124
TABELA 09 –	Teores de Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , N e P sob o fator bloco para os ecossistemas Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com <i>P. taeda</i> , Tijucas do Sul – PR.....	129
TABELA 10 –	Valores médios observados de pHCaCl ₂ , pHSMF, H+Al, Al, Ca ²⁺ +Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , P, MO, SB, T, V%, m%, Areia, Argila, Silte em duas profundidades e três blocos para dois ecossistemas em Tijucas do Sul/PR.....	141
TABELA 11 –	Valores médios das características granulométricas e da fertilidade química em Floresta Ombrófila Mista e povoamento com <i>P. taeda</i> , em duas profundidades zona de transição e solo em Tijucas do Sul/PR.....	207
TABELA 12 -	Valores médios das características químicas e físicas entre Floresta Ombrófila Mista e povoamento com <i>P. taeda</i> , em duas profundidades zona de transição e solo em Tijucas do Sul/PR.....	208
TABELA 13 -	População média (UFC g ⁻¹ de solo) de bactérias, fungos, actinomicetos, solubilizadores de fosfato e celulolíticos, em Floresta Ombrófila Mista e povoamento com <i>P. taeda</i> , sob os fatores bloco, profundidade e estação em Tijucas do Sul/PR.....	209
TABELA 14 -	Comparação de médias para bactérias, fungos, actinomicetos, solubilizadores de fosfato e celulolíticos em duas estações, três profundidades e três blocos, em ambos ecossistemas.....	211
TABELA 15 -	Teste “t” de Student para comparação das médias da população de bactérias, fungos, actinomicetos, solubilizadores de fosfato e celulolíticos (UFC g ⁻¹) no ecossistema Floresta Ombrófila Mista e povoamento com <i>P. taeda</i> , em duas estações do ano (inverno e verão), em Tijucas do Sul/PR.....	233
TABELA 16-	Comparação de médias para a biomassa microbiana (µg g ⁻¹ de solo) em dois ecossistemas, três blocos, três profundidades e duas estações em Tijucas do Sul/PR.....	236

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	Localização da área de estudo.....	88
FIGURA 2 -	Floresta Ombrófila Mista, ao fundo (a) e povoamento florestal com <i>P. taeda</i> de 25 anos de idade (b).....	91
FIGURA 3 -	Trincheiras para observação dos perfis de solos da área com Floresta Ombrófila Mista (a) e no povoamento florestal com <i>P. taeda</i> (b).....	92
FIGURA 4 -	Toposequência da área experimental – Floresta Ombrófila Mista..	94
FIGURA 5 -	Afloramento de rocha granítica na toposequência topo-colina de Floresta Ombrófila Mista.....	95
FIGURA 6 -	Distribuição dos três blocos em povoamento com <i>P. taeda</i> em CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico argissólico.....	96
FIGURA 7 -	Distribuição dos blocos e unidades amostrais na Floresta Ombrófila Mista.....	98
FIGURA 8 -	Distribuição dos blocos e unidades amostrais no povoamento com <i>P. taeda</i>	99
FIGURA 9 -	Fluxograma de amostragem em três blocos, três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (verão e inverno).....	99
FIGURA 10 -	Esquema de amostragem em Floresta Ombrófila Mista na serapilheira, zona de transição e solo.....	100
FIGURA 11 -	Amostragem da serapilheira em Floresta Ombrófila Mista (a). Presença de microrganismos em serapilheira (b).....	101
FIGURA 12 -	Instrumentos e materiais utilizados na amostragem da zona de transição e do solo.....	102
FIGURA 13 -	Detalhe da amostragem da zona de transição (a) e solo (b) em Floresta Ombrófila Mista.....	103
FIGURA 14 -	Serapilheira em povoamento florestal com <i>P. taeda</i> (a) e início da camada de zona de transição (b).....	104
FIGURA 15 -	Detalhe da amostragem do solo em povoamento florestal com <i>P. taeda</i>	104
FIGURA 16 -	Materiais e equipamentos utilizados na análise laboratorial para contagem de microrganismos.....	109
FIGURA 17 -	Plaqueamento dos microrganismos em meio de cultura para contagem do número de unidades formadoras de colônias.....	110
FIGURA 18 -	Teor médio de umidade em Floresta Ombrófila Mista, em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo), em duas estações do ano (inverno e verão) em Tijucas do Sul/PR.....	124
FIGURA 19 -	Teor médio de umidade (%) em povoamento florestal com <i>P. taeda</i> em três blocos, nas duas estações e em três profundidades, Tijucas do Sul/PR.....	126

FIGURA 20 -	Teor médio de umidade nas estações de inverno e verão, para Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com <i>P. taeda</i> , em duas estações, Tijucas do Sul/PR.....	128
FIGURA 21–	Teores médios de Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , N e P (%) na serapilheira de Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com <i>P. taeda</i> , em Tijucas do Sul/PR.....	140
FIGURA 22 –	Valores médios de pH CaCl ₂ em Floresta Ombrófila Mista, em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	142
FIGURA 23 –	Valores médios de pH CaCl ₂ em povoamento florestal com <i>P. taeda</i> , em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	144
FIGURA 24 –	Valores médios de pH em CaCl ₂ em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com <i>P. taeda</i> , em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	145
FIGURA 25 –	Acidez potencial média H ⁺ +Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) em Floresta Ombrófila Mista em duas profundidades e cinco posições de amostragem em Tijucas do Sul/PR.....	146
FIGURA 26 –	Acidez potencial média H ⁺ +Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) em povoamento florestal com <i>P. taeda</i> , em duas profundidades e cinco posições de amostragem em Tijucas do Sul/PR.....	148
FIGURA 27 –	Acidez potencial média (H ⁺ +Al ³⁺ cmol _c dm ⁻³) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com <i>P. taeda</i> , em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	149
FIGURA 28 –	Teor médio de Alumínio Trocável (Al ³⁺ cmol _c dm ⁻³) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	150
FIGURA 29 –	Teor médio de Alumínio Trocável (Al ³⁺ cmol _c dm ⁻³) em povoamento florestal com <i>P. taeda</i> em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	151
FIGURA 30 –	Teor médio de Alumínio trocável (Al ³⁺ cmol _c dm ⁻³) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com <i>P. taeda</i> , em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	153
FIGURA 31 –	Teor médio de Cálcio mais Magnésio (Ca ²⁺ +Mg ²⁺ cmol _c dm ⁻³) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	154
FIGURA 32 –	Teor médio de Cálcio mais Magnésio (Ca ²⁺ +Mg ²⁺ cmol _c dm ⁻³) em povoamento com <i>P. taeda</i> em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	156
FIGURA 33 –	Teor médio de Cálcio mais Magnésio (Ca ²⁺ + Mg ²⁺ cmol _c dm ⁻³) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com <i>P. taeda</i> , em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	157
FIGURA 34 –	Teor médio de Cálcio (Ca ²⁺ cmol _c .dm ⁻³) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	158

FIGURA 35 –	Teor médio de Cálcio (Ca^{2+} $\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) em povoamento com <i>P. taeda</i> em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	160
FIGURA 36 –	Teor médio de Cálcio (Ca^{2+} $\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com <i>P. taeda</i> , em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	161
FIGURA 37 –	Teor médio de Magnésio (Mg^{2+} $\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	162
FIGURA 38 –	Teor médio de Magnésio (Mg^{2+} $\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) em povoamento florestal com <i>P. taeda</i> em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	164
FIGURA 39 –	Teor médio de Magnésio (Mg^{2+} $\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com <i>P. taeda</i> , em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR	165
FIGURA 40 –	Teor médio de Potássio (K^+ $\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	166
FIGURA 41 –	Teor médio de Potássio (K^+ $\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) em povoamento florestal com <i>P. taeda</i> em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	168
FIGURA 42 –	Teor médio de Potássio (K^+ $\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com <i>P. taeda</i> , em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR	168
FIGURA 43 –	Teor médio de Fósforo (P $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	170
FIGURA 44 –	Teor médio de Fósforo (P $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) em povoamento com <i>P. taeda</i> em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR....	171
FIGURA 45 –	Teor médio de Fósforo (P $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com <i>P. taeda</i> , em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	172
FIGURA 46 –	Valores médios de Matéria orgânica ($\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	174
FIGURA 47 –	Valores médios de Matéria orgânica ($\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$) em povoamento com <i>P. taeda</i> em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	175
FIGURA 48 –	Valores médios de Matéria Orgânica ($\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com <i>P. taeda</i> , em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR	176
FIGURA 49 –	Valores médios de Soma de bases ($\text{SB} \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	178

FIGURA 50 –	Valores médios de Soma de bases (SB $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em povoamento com <i>P. taeda</i> em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	179
FIGURA 51 –	Valores médios de Soma de bases (SB $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com <i>P. taeda</i> , em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR	181
FIGURA 52 –	Valores médios de Capacidade de Troca Catiônica (CTC $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	182
FIGURA 53 –	Valores médios de Capacidade de Troca Catiônica (CTC $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em povoamento florestal com <i>P. taeda</i> em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	183
FIGURA 54 –	Valores médios de Capacidade de Troca de Cátions (CTC $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com <i>P. taeda</i> , em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	184
FIGURA 55 –	Valores médios de Saturação por Bases (V%) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	186
FIGURA 56 –	Valores médios de Saturação por Bases (V%) em povoamento com <i>P. taeda</i> em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	186
FIGURA 57 –	Valores médios de Saturação por Bases – V% em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com <i>P. taeda</i> , em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR	187
FIGURA 58 –	Valores médios de Saturação por Alumínio (m%) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	189
FIGURA 59 –	Valores médios de Saturação por Alumínio (m%) em povoamento florestal com <i>P. taeda</i> em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	191
FIGURA 60 –	Valores médios de Saturação por Alumínio (m%) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com <i>P. taeda</i> , em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	191
FIGURA 61 –	Distribuição da fração média de areia % em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	194
FIGURA 62 –	Distribuição da fração média de areia % em povoamento com <i>P. taeda</i> em cinco posições e duas profundidades, Tijucas do Sul/PR.....	195
FIGURA 63 –	Distribuição da fração média de areia % em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com <i>P. taeda</i> , em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR	195

FIGURA 64 – Distribuição da fração média de silte (%) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	197
FIGURA 65 – Distribuição da fração média de silte (%) em povoamento florestal com <i>P. taeda</i> em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	198
FIGURA 66 – Distribuição da fração média de silte (%) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com <i>P. taeda</i> , em duas profundidades, Tijucas do Sul/PR	199
FIGURA 67 – Distribuição da fração média de argila (%) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	200
FIGURA 68 – Distribuição da fração média de argila (%) em povoamento com <i>P. taeda</i> em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.....	201
FIGURA 69 – Distribuição da fração média de argila (%) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com <i>P. taeda</i> , em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR	202
FIGURA 70 – Características físicas da zona de transição e solo em Floresta Ombrófila Mista em Tijucas do Sul/PR.....	202
FIGURA 71 – Características físicas da zona de transição e solo em povoamento com <i>P. taeda</i> em Tijucas do Sul/PR.....	203
FIGURA 72 – População média de bactérias em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (inverno e verão) no ecossistema Floresta Ombrófila Mista, em Tijucas do Sul/PR.....	211
FIGURA 73 – População de bactérias em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (inverno e verão) no ecossistema povoamento florestal com <i>P. taeda</i> , em Tijucas do Sul/PR.....	215
FIGURA 74 – População média de fungos em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (inverno e verão) no ecossistema Floresta Ombrófila Mista, em Tijucas do Sul/PR.....	217
FIGURA 75 – População média de fungos em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (inverno e verão) no ecossistema povoamento com <i>P. taeda</i> em Tijucas do Sul/PR....	219
FIGURA 76 – População média de actinomicetos em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (inverno e verão) no ecossistema Floresta Ombrófila Mista, em Tijucas do Sul/PR.....	222

FIGURA 77 – População média de actinomicetos em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (inverno e verão) no ecossistema povoamento florestal com <i>P. taeda</i> , em Tijucas do Sul/PR.....	223
FIGURA 78 – População média de solubilizadores de fosfato em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (inverno e verão) no ecossistema Floresta Ombrófila Mista, em Tijucas do Sul/PR.....	225
FIGURA 79 – População média de solubilizadores de fosfato em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (inverno e verão) no ecossistema povoamento com <i>P. taeda</i> , no município de Tijucas do Sul/PR.....	228
FIGURA 80 – População média de celulolíticos em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (inverno e verão) no ecossistema Floresta Ombrófila Mista, em Tijucas do Sul/PR.....	230
FIGURA 81 – População média de celulolíticos em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (inverno e verão) no ecossistema povoamento com <i>P. taeda</i> , em Tijucas do Sul/PR.....	232
FIGURA 82 – População média de microrganismos em duas estações (inverno e verão) nos ecossistemas Floresta Ombrófila Mista e povoamento com <i>P. taeda</i> , em Tijucas do Sul/PR.....	234
FIGURA 83 – Biomassa microbiana média ($\mu\text{g g}^{-1}$) nos três blocos, no inverno (a) e verão (b), em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) em Floresta Ombrófila Mista em Tijucas do Sul/PR.....	238
FIGURA 84 – Biomassa microbiana média ($\mu\text{g g}^{-1}$) nos três blocos, no inverno (a) e verão (b), três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) em povoamento florestal com <i>P. taeda</i> em Tijucas do Sul/PR.....	239
FIGURA 85 – Biomassa microbiana média ($\mu\text{g g}^{-1}$) nas duas estações do ano, nos ecossistemas Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com <i>P. taeda</i> em Tijucas do Sul/PR.....	240

RESUMO

Este trabalho contempla o solo como substrato e não somente como fonte nutricional, mas com vida, portanto dinâmico em seu ambiente, oportunizando uma discussão da microbiologia e suas interações com o meio. O objetivo do trabalho foi avaliar a distribuição vertical e horizontal da fertilidade química e da população de microrganismos de solo em dois ecossistemas florestais: Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com *Pinus taeda* L., em Tijucas do Sul/PR. Foram estudadas: umidade, populações de bactérias, fungos, actinomicetos, solubilizadores de fosfato, celulolíticos e biomassa microbiana, sob condições de inverno e de verão e em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo). A condição nutricional da serapilheira, a fertilidade na zona de transição e no solo foram estudadas no verão. A toposequência da Floresta Ombrófila Mista foi dividida em plana, meia encosta e topo e em cada uma delas foi alocado um bloco de 10.000 m², subdividido em cem unidades. Foram sorteadas aleatoriamente cinco unidades amostrais que compuseram as amostras simples, sendo homogeneizadas e formaram uma unidade amostral composta por bloco e encaminhadas ao laboratório. O relevo da área do povoamento florestal com pinus caracterizou-se como plano, sendo adotado o mesmo procedimento para implantação dos blocos e da coleta das unidades amostrais. Os seguintes resultados foram obtidos para a Floresta Ombrófila Mista: a umidade variou com a toposequência; o Ca²⁺ da serapilheira diferiu entre os blocos; foi observada maior acidez e menor teor de Al trocável na zona de transição; Ca²⁺, Mg²⁺, K, P, MO, SB, CTC e V% apresentaram maiores teores na zona de transição; verificaram-se teores mais elevados de Ca²⁺+Mg²⁺, SB, V% e menor acidez no bloco localizado no topo da colina; a análise da população de microrganismos não mostrou diferença entre os blocos para bactérias, fungos, actinomicetos e celulolíticos; as maiores populações de fungos e celulolíticos foram observadas na serapilheira e a maior população de bactérias na zona de transição; a maior população de celulolíticos ocorreu no inverno; a maior população para bactérias, fungos e solubilizadores foi no verão; e a maior biomassa microbiana foi observada na zona de transição. Para o povoamento com pinus obteve-se os seguintes resultados: a umidade foi homogênea entre blocos e menor no solo; o Ca²⁺ e o Mg²⁺ da serapilheira apresentaram diferenças entre os blocos; a análise da fertilidade mostrou maior acidez e H⁺+Al³⁺ na zona de transição, assim como teores maiores de Ca²⁺, K⁺, P, MO, SB, CTC e silte; as populações de bactérias, fungos e solubilizadores não mostraram diferenças entre blocos e estações; as maiores populações de fungos, solubilizadores e celulolíticos foram verificadas na serapilheira, enquanto que os celulolíticos apresentaram maior população no inverno; a biomassa microbiana apresentou-se homogênea entre os blocos, estações e profundidades. Entre os ecossistemas verificou-se maior teor de matéria orgânica para o povoamento florestal com pinus. Considerando a condição nutricional da serapilheira, foram observados teores mais altos de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e N para a Floresta Ombrófila Mista. As quantidades de biomassa microbiana e de microrganismos, exceto celulolíticos, independentemente da estação do ano, foram superiores na Floresta Ombrófila Mista.

Palavras-chave: Floresta, pinus, microbiota, serapilheira, solo, fertilidade.

ABSTRACT

This work encompasses the soil as substratum and not only as nutritional source, but with life, therefore dynamic in its environment, mainly because of the opportunity to discuss broadly soil science related to the different factors that concerns to the forest ecosystems. The objective of this work was to evaluate the vertical e horizontal distribution of the chemical fertility and soil microorganisms population in two ecosystems: Subtropical Ombrophilous Forest and manmade forest with *Pinus taeda* L., in Tijucas do Sul, Paraná, Brazil. The humidity, bacteria, fungi, actinomicetes, solubilizing of phosphate, cellulolytic populations and microbial biomass, under summer and winter conditions, in three depths (litter, transition zone and soil). The litter nutritional condition, the soil and transition zone fertility were evaluated in summer. The Subtropical Ombrophilous Forest toposequence was divided in flat, half hill and top in which were allocated a 10,000m² block, subdivided in 100 unities. Five sample unities were drawn and, after the homogenizing, forming one compose sample per block. The manmade forest relief was considered flat, being adopted the same proceed to the blocks implantation and sample plots collect. The following results were obtained for the Subtropical Ombrophilous Forest: the humidity varies according to the toposequence; the Ca²⁺ of the litter differed between the plots; it was observed greater acidity and lower levels of Al exchangeable in the transition area; Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, P, OM, SB, CTC and V% showed higher levels in the transition area; in the top hill block there were higher levels of Ca²⁺+Mg²⁺, SB, V% and lower acidity; the microorganisms population analysis showed no difference between areas for bacteria, fungi, actinomyces and cellulolytic; the largest fungi and cellulolytic populations were found in litter and the bacteria population were found in the transition area; the higher cellulolytic population occurred in the winter; the bacteria, fungi and solubilizing populations were higher in the summer; and higher microbial biomass was observed in the transition area. The following results were obtained for the manmade forest: the humidity was homogeneous; Ca²⁺ and Mg²⁺ in the litter showed differences between the blocks; the fertility analysis showed greater acidity and H⁺+Al³⁺ in the transition area, as well as the Ca²⁺, K⁺, P, OM, SB, CTC and silt levels; the bacteria, fungi and solubilizing populations showed no differences between blocks and seasons; the largest fungi, solubilizing and cellulolytic populations were found in litter, while the cellulolytic showed higher population in winter; the microbial biomass was homogeneous between the blocks, seasons and depths. The highest organic matter levels were observed in manmade forest. The Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ and N levels of the litter were higher in the Subtropical Ombrophilous Forest. The quantities of microbial biomass and microorganisms, except cellulolytic, regardless of the season, were higher in the Subtropical Ombrophilous Forest.

Key-words: Forest, pine, microbiota, litter, soil, fertility

1 INTRODUÇÃO

Os recursos naturais vêm sendo drasticamente transformados e, em muitos casos, os limites ecológicos têm sido violados, desencadeando significativas mudanças nos ecossistemas. O equilíbrio da biosfera tem sido reduzido e, com isso, a diversidade biológica ou biodiversidade e o equilíbrio ambiental.

O conhecimento científico da dinâmica dos processos e reações microbiológicas, principalmente dos solos, deve ser crescente para o desenvolvimento de tecnologias, concomitantes aos processos naturais de funcionamento dos ecossistemas, com destaque a sistemas silviculturais, visando atingir nova situação de equilíbrio, o mais próximo possível da sustentabilidade.

Entre os processos mais significativos, destaca-se a atividade das biotas do solo, sobretudo dos microrganismos, que mantêm estreita relação com a fertilidade dos solos, calor e umidade, tendo em vista sua importante participação na ciclagem de nutrientes.

A serapilheira e o solo não são simplesmente massas ou detritos inertes, resultantes da intemperização das rochas ou de material vegetal, mas sim, materiais prolíficos e cheios de vida. Constituem um sistema ativo, onde os fatores de natureza física, química e biológica interagem continuamente, constituindo um excelente habitat para uma vasta e diversificada população microbiana.

A serapilheira (liteira, manta, litter, folhedo) é o material biogênico e definido como o conjunto dos restos vegetais em estado original ou em diferentes fases de decomposição, ou ainda, já transformado em húmus, que faz parte do complexo dinâmico do solo. A serapilheira transformada é uma importante fonte de minerais para as plantas - é a matéria prima do trabalho dos seres vivos do solo.

Como o solo é um sistema complexo, aberto e ativo, portanto receptor de materiais como a serapilheira, a quantificação de microrganismos não é tarefa simples e, mesmo tendo sido estudada desde o século passado, muito pouco se conhece sobre a natureza, multiplicação, quantidade e atividade microbiana de

acordo com o perfil vertical, desde a serapilheira até os horizontes (camadas) que compõem o solo propriamente dito de ecossistemas florestais. Pesquisas são necessárias para compreender a distribuição espacial dos microrganismos e suas funções no ecossistema: a caracterização da atividade na serapilheira e no solo; a dinâmica vegetal de deposição, decomposição e ciclagem, a influência dos fatores abióticos nas diferentes estações do ano e a influência dos fatores bióticos através das interações entre os microrganismos; bem como a influência entre os microrganismos e o tipo de solo, relacionados aos povoamentos florestais e às florestas naturais.

Métodos para avaliar a densidade e a diversidade populacional dos microrganismos do solo têm sido desenvolvidos com o objetivo de identificar os componentes e as reações que ocorrem no ecossistema. No entanto, quando se procura fornecer elementos que possibilitem estimar a distribuição espacial do estoque e o potencial microbiológico do solo, depara-se com limitações inerentes à metodologia de amostragem.

Metodologias que implicam no estabelecimento de princípios ou regras de aplicação para a condução de pesquisas científicas específicas a cada lugar mostram-se carentes de informações, principalmente quando se trata de florestas. Por isso, a aplicação de métodos de amostragem em florestas é o primeiro passo e motivo de ampla discussão, devido às novas concepções sobre a variabilidade na densidade e dispersão espacial das populações microbianas, bem como na variabilidade das dispersões nos horizontes do solo.

A amostragem da população para estimar os componentes microbianos vivos do solo em geral é a opção mais utilizada, técnica e cientificamente. Ela constitui um dos principais instrumentos para a obtenção de informações mais precisas e que permitem a definição de critérios para a execução do manejo microbiano do solo florestal, objetivando a geração de benefícios diretos e indiretos e a escolha de procedimentos a serem aplicados na produção, conservação e preservação ambiental.

É fundamental, portanto, proceder adequadamente a amostragem, pois é através dela que se estabelece as inferências sobre a população a partir das amostras dela extraídas.

Espera-se que os avanços deste estudo, concernentes à diferenciação vertical e horizontal da ação dos microrganismos no solo, possibilitem o entendimento da funcionalidade e sua importância microbiológica “*in situ*”, permitindo considerá-los com os demais fatores de conservação e produção, a sustentabilidade dos ecossistemas florestais nativos ou de povoamentos florestais como de *P. taeda*.

1.1 HIPÓTESES

- Se diferentes estações apresentam diferenças de temperatura e precipitação, então é possível que tenham variações nos teores de umidade para o verão e o inverno dentro de cada ecossistema;
- Se os ecossistemas florestais apresentam diferentes características, então é possível que haja diferenças na entrada e saída da água, conseqüentemente no teor de umidade;
- Se as diferentes espécies vegetais requerem diferentes quantidades de nutrientes então, é possível que diferentes ecossistemas florestais apresentem condição nutricional de serapilheira diferenciada;
- Se a distribuição espacial de plantas e o tipo de solo nos ecossistemas podem variar, então pode ter variação espacial na condição nutricional da serapilheira e no retorno de nutrientes em diferentes ecossistemas;
- Se os ecossistemas apresentam diferentes tipos de solos e diversidade na dinâmica da ciclagem nutricional, então podem apresentar diferenças na distribuição espacial das características físicas e dos componentes químicos dos solos;
- Se a análise padrão para a fertilidade do solo é diferente da análise estatística, então poderão apresentar diferentes interpretações da fertilidade;
- Se diferentes estações do ano apresentam diferenças na umidade, calor e frio, então é possível que haja variação na quantidade populacional de microrganismos;

- Se a dinâmica do ecossistema varia em função da diversidade da vegetação e das estações do ano, então podem influir na formação de colônias de microrganismos e sua distribuição vertical e horizontal no solo;
- Se diferentes ecossistemas apresentam características diferentes, então é provável que existam diferenças no comportamento das populações de microrganismos;
- Se diferentes ecossistemas apresentam diferenças na disponibilidade de material para decomposição, então é possível haver diferentes quantidades de biomassa microbiana;
- Se as estações do anos apresentam diferentes estações do ano, então poderá ter desenvolvimento da biomassa microbiana diferenciada;
- Se a distribuição espacial da matéria orgânica é heterogênea, então poderá ter distribuição vertical e horizontal diferenciada da biomassa microbiana.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O trabalho tem por objetivo estudar a fertilidade e a distribuição de microrganismos na serapilheira, zona de transição e solo, em dois ecossistemas florestais: Floresta Ombrófila Mista (natural) e povoamento com *Pinus taeda* L.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Identificar a variação vertical e horizontal do teor de umidade em dois ecossistemas florestais no inverno e verão.
- b) Estudar o retorno dos elementos nutricionais Ca^{2+} , Mg^{2+} , N, P e K^+ na serapilheira de uma Floresta Ombrófila Mista e de um povoamento florestal com *P. taeda*.
- c) Estudar a distribuição espacial dos componentes físicos e da fertilidade do solo sob o aspecto de microsítio.
- d) Determinar o número de unidades formadoras de colônias de fungos, bactérias e actinomicetos.

- e) Determinar o número de unidades formadoras de colônias de microrganismos solubilizadores de fosfatos e celulolíticos responsáveis pela decomposição de materiais específicos e disponibilização de nutriente essencial como o fósforo.
- f) Quantificar a biomassa microbiana em três camadas: serapilheira, zona de transição (serapilheira para solo) e solo mineral propriamente dito em dois ecossistemas florestais.
- g) Avaliar o efeito de duas estações climáticas do ano (inverno e verão) sobre a quantidade de bactérias, fungos, actinomicetos, solubilizadores de fosfato e celulolíticos.
- h) Analisar a flutuação espacial de microrganismos através da abordagem probabilística.
- i) Analisar as variáveis teor de umidade, condição nutricional da serapilheira, fertilidade química e física, populações de bactérias, fungos, actinomicetos, solubilizadores de fosfato e celulolíticos e biomassa comparando dois ecossistemas florestais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O conceito de sistemas é utilizado normalmente, como uma ferramenta de trabalho e tem muita importância na Ecologia, que é uma ciência que estuda as interações entre organismos vivos e seu ambiente. Em 1935 Tansley introduziu a palavra ecossistema (EVANS, 1956), sendo que desde então, vem sendo ampliado para incluir outros sistemas ecológicos. Dentre as mais utilizadas encontra-se aquela que define sistema como sendo o ordenamento de componentes, um conjunto de coisas, que podem ser diferentes espécies e tipos de solos, vegetação (florestas), microrganismos do solo, unidas ou relacionadas de tal maneira que formam e/ou atuam como uma unidade, uma entidade ou um todo. Em resumo, se pode definir um sistema como um ordenamento de componentes que funciona como uma unidade (HART, 1980), e os processos que ocorrem no solo de um ecossistema constituem a base de muitos processos. Portanto, ecossistema é um sistema de organismos vivos e do meio, com o qual interagem matéria e energia. Assim, um ecossistema contém componentes bióticos como florestas naturais ou plantadas, tundra, savana, animais e microrganismos, além de componentes físicos como é o caso da água e do solo, sol, vento e gelo. Estes componentes interagem para formar uma estrutura com uma função que é um conjunto de processos abióticos (físicos) e bióticos (HART, 1980; ODUM et al., 1987). Pode-se dizer ainda, que, ecossistema é uma comunidade de organismos vivos que contém diversas populações (espécies) e, interagem umas com as outras e com o meio ambiente ao qual pertencem em um determinado local, num determinado tempo. Deve ser analisado do particular para o geral, pois por menor que seja uma área, ela deve ser considerada como um ecossistema (HART, 1980; ODUM et al., 1987).

2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS FLORESTAS

A floresta natural atlântica já revestiu extensas áreas do Estado do Paraná, sendo um dos biomas de grande importância, quando considerada a sua biodiversidade animal e vegetal.

Em conseqüência do pouco que restou e acompanhando o ritmo de crescimento da utilização da madeira e de sua importância econômica (madeira e celulose), iniciou-se o cultivo para a produção da madeira e celulose de outras espécies como o *P. taeda*, e com isso, as florestas não se restringissem a pequenas áreas, podendo, assim, ter seus limites ampliados (FERRAZ; MOTTA, 2000; SCHEER, 2006).

A floresta natural caracteriza-se, em geral, pela alta densidade da vegetação e pela grande diversificação de espécies de plantas, cujos ritmos de crescimento são normalmente diferentes. Essas formações possuem características mais complexas do que as das florestas plantadas, tanto na estrutura horizontal, como na vertical, na distribuição espacial e individual da vegetação. São populações que regeneram por si só, e nas quais as árvores de menor dimensão representam a grande maioria da comunidade (RANGEL et al., 2006).

Para o melhor entendimento do comportamento dos diferentes ecossistemas florestais é fundamental o conhecimento relacionado às características de cada um deles, desde as fitogeográficas até o produto final que serve de nutriente para as próprias plantas. Entre as características florestais está a população vegetal, a serapilheira, as biotas do solo e suas relações com o ambiente, a ciclagem dos nutrientes, o clima, o solo, entre outros. Dessa maneira, o conhecimento sobre os diferentes ecossistemas, seja natural ou plantado, deve ser a base racional e sustentável para garantir a perpetuação vegetal com a manutenção de outras formas de vida (GRUB, 1995).

2.1.1 Floresta Ombrófila Mista

O Estado do Paraná é constituído por diferentes regiões fitogeográficas, decorrentes de suas peculiaridades geomorfológicas, edafopedológicas e características climáticas. Existem três tipos principais de florestas no Estado: Floresta Ombrófila Densa, que engloba o litoral e a Serra do Mar; Floresta Estacional Semidecidual, que se encontra na região oeste e norte do Estado, e a Floresta Ombrófila Mista, popularmente conhecida como Floresta com Araucária,

que envolve a região leste e o sul da região dos planaltos. As três unidades fitogeográficas se encontram dentro do bioma “Floresta Atlântica” (SEMA, 2007).

Na Floresta Ombrófila Mista, especificamente, ocorrem representantes das floras tropical (afro-brasileira) e temperada (austro-brasileira) com relevância fisionômica de *Coniferales* e *Laurales*, onde se destaca a *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze (Araucariaceae), espécie gregária que proporciona alto valor econômico e paisagístico. São formações florestais típicas e exclusivas dos planaltos da região Sul e Sudeste do Brasil e países vizinhos como a Argentina, Uruguai e Paraguai. São encontrados, em geral, entre 800 e 1200 m de altitude, podendo ocasionalmente aparecer acima desses limites (IBGE, 1992; LEITE, 1994).

O número de espécies desta unidade fitogeográfica é superior a 350, sendo que só para o Estado do Paraná, estima-se que estejam acima de 200 espécies, com um endemismo aproximado de 40 % (LEITE, 1994; REIS, 1995).

Os relictos de Floresta Ombrófila Mista intactos (primários) estão tornando-se cada vez mais raros, sendo muitas das espécies ameaçadas de extinção, como é o caso da *Ocotea phebe* (imbuia), *Ocotea odorifera* (sassafrás) e a própria *Araucaria angustifolia* (SEMA, 1998). Este tipo de sistema florestal é autosustentável, uma vez que a queda de folhas, galhos, troncos e árvores, além da deposição de dejetos animais, contribuem para a sua manutenção. Esses são os fatores que tem despertado uma considerável atenção ao papel da serapilheira, dentro do ambiente florestal, por ser uma das vias mais importantes da ciclagem, cuja decomposição é elaborada pelas biotas do solo, para posterior aporte de nutrientes.

2.1.2 Povoamento de *Pinus taeda* Linnaeus

O plantio de espécies florestais, como o *Pinus taeda* Linnaeus, para a produção de madeira e celulose é uma das atividades agroflorestais que mais tem crescido nas últimas décadas. A expansão do reflorestamento representa uma estratégia de conservação dos ecossistemas florestais, evitando a pressão exercida sobre as florestas nativas. Isto fez com que melhorasse a produtividade

econômica, além de permitir que a floresta natural pudesse manter-se ou recuperar-se com o intuito de enriquecimento ambiental, e assim, tentar manter a sustentabilidade dos recursos naturais através de intervenções racionais (FERRAZ; MOTTA, 2000; SCARPINELLA, 2002).

O *Pinus taeda* Linnaeus, é uma conífera do grupo Australes, da subseção Pinaster e subgênero *Diplyoxylon*. Ocorre naturalmente nos Estados Unidos da América do Norte. No Brasil é uma planta exótica que se destaca das demais espécies devido à sua ampla distribuição geográfica, encontrando-se em povoamentos puros e abundantes. Pode ser encontrado desde o nível do mar até altitudes acima de 600 metros. Desenvolve-se bem em climas que se caracterizam por invernos frios e verões quentes e muito secos. Esta espécie desenvolve-se melhor em temperatura de 2 a 15°C, temperatura média do mês mais quente variando entre 24°C a 26°C e precipitação média anual de 920 mm a 1550 mm (BAKER; LANGDON, 1990)

Apesar das alterações ecológicas resultantes da introdução dos monocultivos de pinus, deve-se destacar que essas espécies florestais são de crescimento rápido, apresentando ótima adaptação edafoclimática, podendo atingir produções superiores a 50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (BARROS; COMERFORD, 2002). Por outro lado, pode ameaçar a conservação da riqueza em relação à biodiversidade dos ecossistemas. O importante é buscar o estabelecimento de uma relação harmoniosa entre os componentes bióticos e abióticos, bem como compreender a dinâmica que envolve os elementos da serapilheira, da zona de transição e do solo propriamente dito, na produção florestal em diferentes ecossistemas (GUEDES, 2005).

2.2 DIVERSIDADE DOS MICRORGANISMOS DO SOLO

O estudo do solo considera suas diversas propriedades na medida em que estas influenciam na produção vegetal. O solo encontra-se sobre o leito rochoso e apresenta diferentes profundidades; pode ser material desintegrado da

rocha subjacente ou ter sido transportado pela ação do vento, água ou do gelo e depositado sobre o material rochoso.

Em uma observação mais detalhada, verifica-se que o material encontrado na superfície difere do material mais profundo. O solo que se encontra mais próximo à superfície está sujeito à ação desintegradora do vento, da água e do calor. Além disso, é o local onde se encontra a maioria das raízes das plantas. Os resíduos depositados na superfície podem ser incorporados por minhocas ao solo e posteriormente decompostas pelos microrganismos (BRADY, 1983). O mesmo autor relata que a presença da matéria orgânica não decomposta e a presença de minerais no solo resultam na formação de camadas horizontais distintas. A porção superficial difere do material mais abaixo pelo conteúdo relativamente elevado de matéria orgânica, grande quantidade de raízes e de organismos do solo, além da maior exposição ao intemperismo.

O conhecimento da dinâmica dos processos que ocorrem no solo é de fundamental importância para entender as razões da produção e da preservação do meio em que se desenvolvem. Um ambiente de natureza dinâmica, heterogêneo, como é o solo, onde ocorrem interações complexas entre seres vivos, minerais e materiais orgânicos, resultam em propriedades específicas, como a fertilidade e a capacidade de troca iônica, estrutura e textura do solo, entre outros. É possível notar que a comunidade dos organismos presentes rege e é regida fortemente por essas condições e suas relações, influenciando na composição quali-quantitativa do solo (CARDOSO et al., 1992; COUTINHO, 1999). Assim, os fatores bióticos, a biodiversidade e a atividade biológica são fatores diretos e estreitamente ligados às funções e características essenciais para manter a capacidade produtiva do solo (COUTINHO, 1999).

Os organismos do solo, também denominados biota do solo, englobam todos os grupos de microrganismos como fungos, bactérias e actinomicetos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002) e, podem ser classificados em micro, meso e macrofauna. Podem ser avaliados em relação à família, gênero, intraespécie, entre outros, ou através de determinadas características genéticas ou fenotípicas como morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e simbióticas.

Esses organismos apresentam alta diversidade metabólica e fisiológica, tornando-os versáteis no *habitat* dos vários nichos ecológicos, como é o caso dos nichos florestais. Podem ser classificados em: autotróficos ou heterotróficos, que são organismos que assimilam o carbono de fontes inorgânicas (CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-}) ou orgânicas; fototróficos e quimiotróficos, organismos que captam a energia da luz solar ou da oxidação de moléculas orgânicas ou inorgânicas; litotróficos e organotróficos, que são organismos que derivam equivalentes redutores de materiais inorgânicos ou orgânicos; quimioorganotróficos, que fazem uso da energia química e de substâncias orgânicas como fonte de carbono e de elétrons e que são os mais abundantes no solo em densidade e diversidade (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Outros tipos de classificação foram propostos, por exemplo, em relação ao *habitat*: alóctones, provenientes de outros locais; autóctones que se formam no próprio local e crescem lentamente, tendo, pois, baixa taxa de crescimento e ocorrem em solos onde há substratos difíceis de serem oxidados; zimógenos, aqueles que apresentam picos de atividade por ocasião da aplicação de resíduos frescos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Há ainda, formas de classificação dos organismos do solo que são muito empregados na ecologia geral, denominadas de seleção *r* e *k*. A seleção *r* refere-se aos organismos selecionados por estes habitats pela abundância de substrato e crescimento rápido, apesar de menos eficiente no uso de substratos complexos, utilizando-se de substratos simples e prontamente disponíveis. A seleção *k* faz parte do grupo de biotas que habitam onde há pouco substrato, por isso normalmente possuem moderada taxa de crescimento e investem no incremento da taxa de crescimento por unidade de alimento. Essas biotas são mais eficientes na utilização de substratos e são agentes capazes de usar substratos mais complexos e diversificados (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

A presença desses organismos é função das condições dominantes do meio em que vivem e dos limites da sua bagagem genética, tendo como principais atividades: a decomposição da matéria orgânica (serapilheira), desdobrando-a em ácidos orgânicos, gás carbônico (CO_2), oxidando o S em sulfatos (SO_4), reduzindo as aminas com a produção de amônia (NH_3),

elaborando enzimas através das bactérias que decompõem o amido, sintetizando seus próprios tecidos a partir do carbono do CO₂ e do N atmosférico, entre outros; produção de húmus, ciclagem de nutrientes e energia, da fonte de elétrons, seja inorgânica, orgânica ou da água; fixação de nitrogênio atmosférico; produção de compostos complexos que proporcionam agregação do solo; decomposição dos xenobióticos e controle biológico de pragas e enfermidades. A densidade dos organismos varia de acordo com as características edáficas do solo e microclimáticas de cada lugar; as bactérias pertencem ao grupo mais numeroso e, em conjunto com os fungos, representam a maior biomassa do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

2.2.1 Bactérias

As bactérias são organismos procarióticos, normalmente unicelulares, de tamanho reduzido (0,5 – 2,0 x 1,0 – 8,00 µm) que se multiplicam rapidamente em um tempo de geração de 15 a 20 minutos por fissão binária, formando colônias (BRANDÃO, 1992). As maiores concentrações ocorrem nos horizontes superficiais decorrente das condições favoráveis de calor e umidade, aeração e disponibilidade de nutrientes. Em regiões subtropicais, em condições adequadas de umidade, as populações atingem o nível máximo no início de verão ou no outono (BRADY, 1983).

Atualmente, existem divisões que incluem as cianobactérias (Divisão B), que durante muitos anos foram classificadas junto com as algas verdes (eucarióticas) e por isso, ainda são ditas cianofíceas ou algas verde-azuladas e os actinomicetos (subdivisão de A), que apesar de serem procariotos, possuem algumas características comuns com os fungos (eucariotos). Decorrente dessas particularidades das cianobactérias e actinomicetos, estes grupos são destacados no domínio Bactéria. Apesar da divisão A ser chamada “Bactérias Gran-negativas”, ela engloba dois grupos de bactérias com paredes Gran-positivas. Nela ocorrem os actinomicetos e outras espécies abundantes no solo. Na divisão C encontra-se a maioria das bactérias Gran-negativas, espécies fixadoras de N₂ como os rizóbios, os nitrificadores, agrobactérias, bactérias púrpuras metabolizantes do enxofre e redutoras de enxofre elementar e de

sulfato, entre tantos outros. Na divisão E encontram-se as bactérias fotossintéticas verdes ligadas ao ciclo do S e nas divisões D, F, G, e H encontram-se as bactérias celulolíticas importantes no solo. Essa divisão tem continuidade, indo até a divisão K. As bactérias do solo, são em geral heterotróficas, embora em algumas condições possa haver predominância de bactérias autotróficas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

A população bacteriana é estimada em aproximadamente 10^8 a 10^9 unidades g^{-1} de solo, que pode variar segundo a técnica de contagem empregada e o tipo de solo. No solo estima-se que existam mais de 800 espécies de bactérias, sendo que a maior parte pertence a ordem Eubacteriales, que habitam as camadas superficiais, principalmente em partículas orgânicas por ocasião da degradação da serapilheira e na rizosfera (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002; DIONÍSIO, 1996).

Devido às exigências em oxigênio, as bactérias podem ser agrupadas em quatro divisões:

- a) aeróbias, que necessitam de oxigênio;
- b) microaerófilas, que exigem pequenas quantidades de oxigênio livre;
- c) anaeróbias, que crescem sem oxigênio
- d) anaeróbias facultativas, que crescem na presença ou ausência de oxigênio livre (SIQUEIRA et al, 1994).

As bactérias de maior ocorrência no solo pertencem aos gêneros: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Xanthomonas* e *Micrococcus*, além dos menos representativos, mas de grande importância ao ecossistema: *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Ferrobacillus*, *Thiobacillus*, *Hidrogenomas*, *Dessulfovibrio*, *Methanobacillus*, *Carboxidomonas*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Prospania*, *Azospirillum*, *Beijerinckia*, *Azotomonas*, *Derxia* e outros gêneros de vida livre no solo (BRANDÃO, 1992).

Segundo Brady (1983), diversas condições do solo influem no crescimento das bactérias, sendo uma das mais importantes o suprimento de oxigênio e de umidade, temperatura, quantidade e natureza do substrato, pH e a quantidade de cálcio permutável. Rigobelo e Nahas (2004) estudaram a flutuação da população de bactérias sob povoamentos de eucalipto e pinus,

relatando que no período de junho a setembro, meses com menor precipitação e temperatura, ocorreu a redução da população de bactérias. Enquanto que no período de dezembro a março, os mesmos autores, verificaram aumento da população.

Também já foram constatados que os *Bacillus* e os *Clostridium*, aeróbio e anaeróbio, respectivamente, conseguem sobreviver em condições adversas do ambiente, quando ocorre a dessecação prolongada, altas temperaturas, irradiação e substâncias tóxicas, porque formam uma estrutura de resistência (endosporo), que é mais resistente do que a célula vegetativa (GRAY; WILLIAMS, 1975). Estes esporos são eliminados pelo calor seco, quando submetidos a 180° C durante quinze minutos (BLOCK, 1991). Estas populações microbianas, se contadas em placas, podem representar até 67% da população de microrganismos.

Araújo e Hungria (1994) relatam que as bactérias constituem o maior número de microrganismos no solo. Se consideradas em relação a biomassa, elas representam 1/3 da biomassa microbiana, além de possuir a relação C/N média de 4, convertendo 32% de carbono (C) em biomassa (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

No entanto, Anderson e Domisch (1980), pesquisando em 17 solos, observaram que: a contribuição das bactérias para a biomassa total variou de 10 a 40 %, sendo a média de 25%, enquanto que a contribuição dos fungos variou de 60 a 90%, tendo como média 75%.

2.2.2 Actinomicetos

Os actinomicetos são bactérias gran-positivas que constituem um grupo de microrganismos com características intermediárias entre fungos e bactérias. A maioria deles tem seu nicho ecológico na zona aeróbica do solo (superfície e horizontes inferiores, composto, lama fluvial e fundo de lago) e, especialmente, em ambientes de pH altos; são da classe *Schyzomycetes*, juntamente com as bactérias. Assim, o termo actinomiceto não tem significado taxonômico e, por isso, eles são classificados como bactéria da Ordem *Actinomycetales* (SIQUEIRA; FRANCO, 1988). Assemelham-se aos fungos por

produzirem um fino micélio ramificado que se fragmenta formando esporos assexuais - os conidiosporos (PELCZAR et al., 1980).

Os actinomicetos também são muito diversos morfologicamente, variando de micrococcus, bastões pleomórficos, filamentos ramificados e ciclos de vida que combinam ou não com estas formas. Apresentam-se nos solos em forma filamentosa com hifas finas de 0,5 – 1,32 μ de diâmetro. Como produz substâncias voláteis com cheiro rançoso característico, é fácil detectar sua presença no solo quando são mexidos. Os esporos podem apresentar-se sob diversos tipos, como os artrosporos (*Streptomyces*), zoosporos (*Spirillospora*, *Actinoplanes*) e endosporos (*Thermoactinomyces*), sendo produzidos nas hifas, esporângios e vesículas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). As hifas ou filamentos assemelham-se morfologicamente às hifas dos fungos, mas de diâmetro muito reduzido, isto é, 0,5 a 2,0 μ m (SIQUEIRA; FRANCO, 1988). Em relação à biomassa microbiana total, os actinomicetos contribuem de forma similar às bactérias. As transformações bioquímicas no solo são menores que as dos fungos e das demais bactérias (ALEXANDER, 1980). Esses microrganismos aparecem no solo numa densidade populacional de 10^4 a 10^8 unidades g^{-1} de solo, sendo inferiores somente às bactérias (SIQUEIRA; FRANCO, 1988).

As hifas dos actinomicetos podem variar de curtas e rudimentares até bastante ramificadas, podendo penetrar no substrato ou viver aereamente. A reprodução é feita por fragmentação de hifas ou esporos (endo ou exo). Esses esporos são de vários tipos, como os artrosporos, zoosporos, esporângios e vesículas. Alguns gêneros possuem micélios aéreos e são procarióticos. Como ocorre com os fungos, nos actinomicetos superiores, o micélio se ramifica de forma extensa, e diversas espécies possuem micélio aéreo e conídio, além disso, em cultura líquida não é turvo como acontece com as bactérias, mas em aglomerados (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Os subgrupos de actinomicetos importantes que podem ser encontrados no solo, segundo The Prokariotes (1991), citado por Moreira e Siqueira (2002) são:

- a) *Nocardiaceae*: decompositores da matéria orgânica e patógenos;
- b) *Frankiaceae*: formadores de nódulos radiculares;

- c) *Micromonosporaceae*: são esporos formados em micélio no substrato, o seu crescimento ocorre entre 20°C-40°C;
- d) *Streptomicetaceae*: crescem bem em entre 25°C e 35°C, produzem pigmentos e/ou antibióticos e são encontrados de forma abundante no solo;
- e) *Thermosporaceae*: o seu crescimento ideal é na faixa de 37°C-50°C, aparecem em esterco, compostos e folhas apodrecidas e excretam diversas enzimas extracelulares termoestáveis;
- f) *Cellulomonadaceae*: degradam a celulose;
- g) *Arthrobacter*: ocorrem em temperatura de 25°C a 30°C, são abundantes no solo, versáteis nutricionalmente, pois degradam herbicidas, pesticidas e outras moléculas sintéticas, sendo que algumas moléculas geram fitohormônios

A maior parte dos actinomicetos é heterotrófica e, por isso, dependem de nutrientes orgânicos, ou seja, fontes de carbono orgânico. Segundo Siqueira e Franco (1988) este carbono é encontrado nas moléculas simples e complexas de ácidos orgânicos, polissacarídeos, lipídeos, proteínas e carbonos alifáticos, como a quitina. Enquanto que, Alexander (1980) relata que as populações de fungos e bactérias diminuem no solo por ocasião da escassez de nutrientes e materiais orgânicos, pois são fracos competidores.

Uma das características dos actinomicetos é a produção de enzimas extracelulares que degradam macromoléculas complexas muito encontradas nos solos: caseína, amido, húmus, celulose e lignocelulose. Também é comum a síntese e excreção de milhares de metabólitos, como é o caso da geosmina, que é responsável pelo cheiro característico da terra molhada. Além destes, os actinomicetos produzem a estreptomicina e o antibiótico antibacteriano. A espécie do gênero *Streptomyces* é capaz de produzir antibióticos com inúmeras propriedades: anti-bacteriana, antifúngica, antiviral, antitumor, antiparasítica, inseticida e controladora de plantas daninhas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

A maioria dos actinomicetos possui o nicho ecológico na zona aeróbica do solo. A fixação biológica de N₂ é mediada neste grupo pelo gênero *Frankia*, que faz simbiose com plantas de oito famílias botânicas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

A acidez do solo (pH) ou da serapilheira é um fator limitante para a maioria dos actinomicetos. A faixa de pH considerada boa para a sua sobrevivência está entre 6,5 a 8,0, sendo 5,5 o pH limitante (TSAI; ROSSETTO, 1992). Mas há também aqueles adaptados a solos ácidos, ou seja, pH 3,5 (KHAN; WILLIAMS, 1975).

Considerando a profundidade, são mais numerosos no horizonte A. À medida que se aprofunda no perfil do solo ocorre redução da população, mas podem ser encontrados em grandes profundidades. Por outro lado, em alguns solos, os actinomicetos aumentam com a profundidade, o que se pode supor é que tenha havido carreamento de conídios pela água ou a um efeito diferencial de O₂ ou CO₂ sobre eles. No horizonte C, as contagens podem variar de 10⁴ a 10⁵ UFC g⁻¹ de solo (unidade formadora de colônia por grama de solo). Solos úmidos e bem arejados são propriedades que levam os actinomicetos a se desenvolverem melhor. Tornam-se mais ativos em períodos de seca, numa escala em que as bactérias dificilmente conseguem atingir (BRADY, 1983).

As transformações no solo pelos actinomicetos são: degradação de substâncias em geral não decompostas por fungos e bactérias, como fenóis, quitina e parafinas, ou seja, decomposição dos resíduos resistentes de animais e vegetais; degradação da celulose e proteínas com pequena imobilização de nitrogênio, formação de húmus pela decomposição da matéria orgânica nos compostos da fração orgânica do solo; decomposição em alta temperatura de composto, esterco; produção de antibióticos atuando no equilíbrio microbiano; fixação do nitrogênio pela simbiose com vegetais superiores como a *Casuarina*, *Alnus* e *Myrica*. Também há indícios de que 75% dos actinomicetos do gênero *Streptomyces* isolados do solo produzem antibióticos, fazendo com que sejam agentes de controle biológico de fungos e bactérias fitopatogênicos (FREIRE, 1975).

As populações de actinomicetos cultivadas em ágar são de fácil reconhecimento após incubação longa, o que não acontece quando ainda são jovens. O crescimento em cultura líquida não se torna turvo como nas bactérias, entretanto formam aglomerados (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Antes de esporularem constitui-se apenas de um organismo, um micélio derivado de uma

única unidade propagativa. Sobre cultivos de ágar, alguns apresentam populações firmes e aderentes. No caso de solos, quando isolados, é comum ocorrerem populações opacas e logo abaixo da superfície, ao emergir, são muito parecidos com as comunidades bacterianas, porque se apresentam lisas e brilhantes, mas, logo a seguir, tornam-se pulverulentas e pigmentadas, quando são produzidos os esporos aéreos (FREIRE, 1975).

2.2.3 Fungos

A classificação atual dos fungos coloca-os dentro dos chamados fungos verdadeiros, isto é, possuem quitina na parede celular. São aclorofilados, não são móveis (embora algumas espécies tenham células reprodutivas móveis) e se reproduzem através de esporos. Uma significativa diferença anatômica refere-se aos produtos de armazenamento: amido nas plantas e glicogênio nos fungos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Os fungos são decompositores lentos em períodos sazonais frios de regiões subtropicais, resultando na formação de húmus em maior quantidade quando comparados com outros microrganismos. Tanto fungos, como actinomicetos podem se desenvolver em solos mais secos do que o necessário para as bactérias, significando que os fungos e, principalmente actinomicetos desenvolvem-se em solos com umidade relativa do ar no solo de 85 a 98%, enquanto que para as bactérias a umidade relativa do ar no solo é de 98% para mais e que ocorre com uma umidade entre 50 e 75% da capacidade de retenção de água do solo (BURGES, 1969). Os fungos também são encontrados no solo, em geral, em densidades populacionais abaixo das bactérias e actinomicetos, variando de 10^4 a 10^6 unidades g^{-1} de solo, contribuindo em geral com a maior parcela da biomassa microbiana (DIONÍSIO, 1996).

O *habitat* preferencial dos fungos é o de solos ácidos, onde há menor competição, já que as bactérias e actinomicetos são favorecidos por pH neutro e alcalino. Podem ocorrer em solos com pH 2,0 a 9,0, dependendo da espécie (PELCZAR et al., 1980). A umidade ideal para a população de fungos encontra-se na faixa de 60 a 70 % da capacidade de campo. Normalmente são aeróbios e resistentes a altas pressões de CO_2 (BRANDÃO, 1992).

Os fungos obtêm energia e carbono de compostos orgânicos e são aeróbios obrigatórios. São também importantes agentes de controle biológico de outros fungos e nematóides fitopatogênicos. São, ainda, organismos heterotróficos quimiorganotróficos, que podem ser: saprófitos sacarídeos (ficomicetos), degradadores de lignina (basidiomicetos), coprófilos (estrumes), predatórios e habitantes radiculares. Sendo assim, possuem diversas funções no solo: decomposição de resíduos orgânicos; agentes de controle biológico e formadoras de simbioses mutualísticas com plantas (micorrizas) e algas verdes ou cianobactérias (líquens). Também são importantes nas indústrias químicas, farmacêuticas e alimentares. Utilizam uma grande diversidade de substratos como fontes de carbono (C), tais como lignina, celulose e hexoses; como fontes de nitrogênio (N), ácidos nucleicos, nitratos e nitrogênios amoniacais; participam na formação de húmus, pela decomposição dos resíduos orgânicos. Dentre estes, cita-se: *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Helminthosporium*, *Metrharrizum*, que sintetizam substâncias lignosas (FREIRE, 1975; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Além disso, muitos fungos degradam polissacarídeos complexos, como celulose, pectina e hemicelulose; 30 a 40% dos fungos são estimulados por aminoácidos e pelo extrato de fermento, constituindo o maior grupo. No entanto, cerca de 96 % são capazes de desenvolver colônias microscópicas em meio simples de glucose e sais inorgânicos, o que faz a diferença, quando comparada às bactérias. Esse uso dos proteinados fornece nitrogênio e carbono para a metabolização dos próprios organismos, todavia, em certas condições, estes podem competir com os vegetais quando se trata de amônio e nitratos disponíveis. Os fungos também participam na formação dos agregados das partículas do solo, melhorando suas condições físicas, sobretudo devido a ação mecânica agregadora dos filamentos do micélio.

A serapilheira apresenta quantidades de nutrientes significativas que são mineralizados pela atividade microbiana, principalmente pelos fungos. Assim, Ghizelini (2005) estudou a sucessão de fungos em acículas de *P. taeda* durante um período de doze meses e buscou estabelecer uma relação entre a presença dos fungos e as condições climáticas locais, no município de Três Barras/SC.

Durante o trabalho foram identificados 13 gêneros fúngicos, com maior número total de registros em novembro e fevereiro e o menor em maio, sendo este último referente ao mês de menor temperatura.

Os fungos micorrizicos podem ser octotróficos, o fungo forma uma capa de hifas envolvendo as raízes e que penetram nos espaços intercelulares. Um grande número de árvores de importância tem este tipo de associação. As micorrizas são encontradas mais em solos pobres em fósforo (P) e nitrogênio (N) e pouco em solos de alta fertilidade (FREIRE, 1975).

Os fungos podem ser unicelulares e/ou filamentosos. Os unicelulares, como é o caso das leveduras, distribuídas na maior parte das divisões do Reino Fungi, possuem o diâmetro das células entre 1 e 5 μm . Os filamentosos possuem hifas que se ramificam em diversas direções coletivamente, sendo o conjunto de hifas chamado micélio, que é dividido em hifas ou células por septos transversais. Assim, os fungos não septados apresentam hifas contínuas multinucleadas. As hifas diferenciam-se para dar origem a hifas férteis ou corpos frutíferos que geram esporos assexuais chamados conídios, ou então esporos sexuais. O conjunto de hifas (filamento do micélio dos fungos) é chamado micélio (parte vegetativa e filamentosa) e os fungos que podem ter formas unicelulares e de hifas, são denominados dimórficos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Os micélios dos fungos se unem às raízes das plantas, dando uma associação denominada micorriza, termo que significa “raiz de fungo”.

Os fungos também representam em média 2/3 da biomassa microbiana e tem relação C/N cerca de 10 e converte 44% do carbono (C) prontamente decomponível a tecidos microbianos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

2.2.4 Microrganismos Celulolíticos

A maioria dos microrganismos heterotróficos do solo é representada por actinomicetos, fungos e bactérias, sendo caracterizados pela habilidade que possuem em decompor a celulose, utilizando-a como fonte de carbono (C) e energia (DIONÍSIO, 1996).

A celulose é o mais importante composto orgânico existente na natureza. Representa 15 a 60% da matéria seca dos vegetais incorporados ao solo.

Encontra-se em plantas, sementes, fungos, algas e cistos de protozoários. É localizada na parede celular, em forma de unidades microscópicas, com formato de bastão chamadas micelas (SIQUEIRA et al., 1994).

A celulose é um carboidrato constituído de unidades de anidroglicose unidas pelas ligações β 1-4 nos átomos de carbono, com número variável entre 2.000 a 10.000 unidades por molécula, formando uma longa cadeia linear não ramificada (CERRI; VOLKOFF, 1992).

O esterco, uréia, aminoácidos, peptona, caseína entre outros, estimulam a degradação. Essa degradação é realizada pela enzima celulase, que é produzida em ambiente aeróbio ou anaeróbio. A decomposição em ambiente aeróbio produz CO_2 e substância celular, com o auxílio dos microrganismos, sendo os fungos os principais agentes responsáveis pela degradação. Dentre estes, destacam-se a *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicilium* e *Rhizopus* (ALEXANDER, 1980).

Na ausência de oxigênio, a decomposição torna-se lenta, é realizada predominantemente pelas bactérias anaeróbias facultativas e/ou obrigatórias e produzem CO_2 , H_2 , etanol, ácido acético, butírico, fórmico, láctico e succínico. Por isso, a taxa de metabolização da celulose em ambientes deficientes de O_2 é amplamente reduzida quando comparada ao ambiente aeróbio. Em ambientes mal drenados predominam as bactérias anaeróbias celulolíticas, enquanto que os fungos e actinomicetos são reduzidos. Outros carboidratos, como as xilanas, parecem acelerar a decomposição da celulose (FREIRE, 1975).

Um importante fator que age também na decomposição da celulose no solo é a argila. Ela adsorve os compostos celulósicos, em maior grau do que aqueles que possuem cadeia mais curta, além de inativar a celulase. Esta adsorção do substrato e inativação da enzima justifica a inibição da decomposição da montmorilonita (FREIRE, 1975).

2.2.5 Microrganismos Solubilizadores de Fosfato

Com base nas funções fisiológicas que o fósforo (P) desempenha nos organismos vivos, paralelamente aos fatores do solo que restringem sua disponibilização à nutrição de plantas, além da dependência externa do Brasil

em enxofre utilizado na indústria de superfosfatos, a solubilização de fosfatos pode ser considerado um dos mais expressivos fatores da produtividade (CARDOSO et al., 1972; JONES, et al.; 1991).

Diversos estudos mostram que a solubilização é inata de comunidades microbianas e não condição extrínseca imposta pelo ambiente, haja visto que existe um número considerável de microrganismos do solo que possui a habilidade de solubilizar os fosfatos, cujo potencial de solubilização está relacionado ao tipo de fosfato insolúvel e às condições do ambiente (SIQUEIRA et al., 1999; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). No entanto, os estudos têm sido predominantemente químicos e muito pouco relacionados aos processos biológicos e microbiológicos. Assim, o fósforo da matéria orgânica só se torna disponível quando os microrganismos do solo promovem as reações químicas, liberando os íons fosfatos inorgânicos (CARDOSO et al., 1992; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

O fósforo é o segundo elemento mais importante para as plantas, depois do nitrogênio, sendo um componente vital para todas as formas de vida. Sua função fisiológica principal é o acúmulo e a liberação de energia no metabolismo celular, sendo a principal fonte de compostos orgânicos de fósforo no solo, a grande quantidade de vegetação que é decomposta. A quantidade encontrada no solo é, em geral, elevada; ocorrem como compostos orgânicos e inorgânicos, mas em baixas quantidades disponíveis para as plantas, sobretudo em solos tropicais (DIONÍSIO, 1996). É absorvido pelas plantas como íon ortofosfato (H_2PO_4^-), especificamente da solução do solo e incorporação nos componentes orgânicos: fitatos, ácidos nucleicos e fosfolipídio (FREIRE, 1975; NAHAS, 1999; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Os microrganismos especializados na solubilização de fosfato participam da solubilização de compostos inorgânicos de fósforo (P), da mineralização de compostos orgânicos com a liberação de ortofosfatos, da imobilização de ânions inorgânicos disponíveis pela conversão em constituintes do protoplasma microbiano, de oxidação ou redução dos compostos inorgânicos de fósforo. Os microrganismos podem imobilizar o fosfato. Essa imobilização é mais provável ocorrer quando o ortofosfato disponível no solo estiver em baixa concentração,

ou seja, abaixo do que é exigido pelos microrganismos. A imobilização refere-se à utilização de fosfatos disponíveis, incorporando-os em moléculas de ácidos nucleicos e fosfolipídeos, entre outras (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989; TSAI; ROSSETTO, 1992; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Depois da morte dos microrganismos, o fosfato fica disponível através da mineralização microbiana. A mineralização é feita pelos microrganismos heterotróficos comuns, que produzem enzimas do tipo fosfatases e fitases. É um processo que tem a influência de inúmeros fatores, principalmente de condições ambientais que interferem na densidade e atividade dos microrganismos, e pela mineralogia do solo (TSAI; ROSSETTO, 1992).

Por ocasião da decomposição da matéria orgânica, certas quantidades de fósforo vão sendo assimiladas para formar e desenvolver as células dos microrganismos. A célula bacteriana compõe-se de um terço de fósforo, sendo a metade do fósforo na forma de ácido ribonucleico (RNA), 15 a 25 % ocorre como composto ácido solúvel (meta e orto-fosfatos, coenzimas e fosfatos de adenosina), 10 % são fosfolipídeos e 5 – 10 % é DNA. No solo, 25 a 85 % do fósforo total é orgânico, tendo menor quantidade na maior profundidade. Em solos de pH neutro para alcalino o fósforo inorgânico é encontrado como fosfato de cálcio e em solos ácidos aparecem o fosfato de ferro (Fe) ou fosfato de alumínio (Al). O efeito do valor do pH na dissolução de fosfato de rocha pode ser observado onde a atividade microbiana foi restringida. No húmus, no protoplasma microbiano e nos produtos metabólicos da microflora são encontrados compostos orgânicos como a fitina, ácidos nucleicos e fosfolipídeos como a lecitina (JAYACHANDRAN et al., 1989; NAHAS, 1999).

Utilizando formas de fosfato de cálcio, Sperber (1958a), citado por Nahas (1999), observou que a população de microrganismos solubilizadores teve uma variação 0,5 a 0,15% do total de microrganismos do solo (26 a 39%).

Em outro trabalho utilizando 13 tipos diferentes de solos, o número de fungos solubilizadores variou de 8 a 38% da população total e de bactérias de 7 a 56% (NAHAS, 1999). Em quatro tipos de solos do Estado de São Paulo, Eira e Carvalho (1970) encontraram fungos solubilizadores predominando sobre as bactérias e, dentre esses, 41% do gênero *Penicillium* e 25% do *Aspergillus*,

apresentando a espécie de *Aspergillus niger* como o mais eficiente na solubilização de todos os fosfatos de rocha testados. Já Barroti (1998) encontrou bactérias solubilizadoras (28,8% do total) predominando os fungos solubilizadores (24,1% do total). No entanto, é fundamental lembrar que as plantas, através de seus exsudatos, também solubilizam fosfatos insolúveis, por meio de mecanismos que são relacionados ao balanço entre cátions e ânions absorvidos (SWART; VAN DIEST, 1987; HOFFLAND, et al., 1989;).

Trabalhos de pesquisa têm demonstrado que a capacidade solubilizadora do fosfato não está restrita aos diferentes fosfatos de cálcio, pois a atividade microbiana foi detectada através de isolados fúngicos de solo, que conseguiram solubilizar o fosfato de ferro (JONES et al., 1991).

Como a atividade microbiana é responsável pela mineralização de fósforo orgânico no solo, diversos microrganismos como bactérias, fungos e actinomicetos são capazes de hidrolisar o fósforo orgânico de vários compostos, utilizando a produção da enzima fosfatase, cuja atividade pode ser considerada como sendo um indicador da transformação da matéria orgânica do solo, pela relação entre a cinética da fosfatase e a taxa de decomposição. No entanto, os valores de ATP podem não ser indicadores tão fiéis do estado metabólico de um microrganismo ou de uma comunidade, já que é possível o crescimento ocorrer em apenas uma fração da população (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Dentre os microrganismos citam-se as bactérias: *Bacillus pulvitiaciens*, *B. megaterium*, *B. circulans*, *B. subtilis*, *B. mycoides*, *B. mesentericus*, *B. fluorescens*, *B. polymixa*, *Pseudomonas putida*, *P. straita*, *P. calcis*, *P. liquifaciens*, *P. rathonia*, *Escherichia freundii*, *E. intermedia*, *Xanthomonas sp.*, *Thiobacillus thiooxidans*, *Serratia sp.*, *Achromabacter sp.*, *Aerobacter aerogenes*, *Nitrosomonas sp.* Como fungos tem-se: *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. terreus*, *Penicillium lilacium*, *P. digitatum*, *Fusarium oxysporum*, *Curvularia lunata*, *Humicola sp.*, *Pythium sp.*, *Acrothecium sp.*, *Mortierella sp.*, *Rhizoctonia sp.*, *Cunninghamella sp.*, *Cladosporium sp.* Quanto a actinomicetos, tem-se: *Streptomyces sp.* (RAO, 1982).

2.2.6 Ocorrência e Distribuição Espacial dos Microrganismos no Solo

O solo de uma floresta possui um *habitat* extremamente peculiar com relação a outros *habitats* terrestres. A heterogeneidade das florestas permite que organismos com metabolismos díspares possam conviver lado a lado, interagindo em estado de equilíbrio dinâmico, sendo que alguns organismos, muitas vezes, vivem em relações de dependência essenciais para sua sobrevivência. Com isso, proporcionam condições ideais para uma biodiversidade extremamente elevada. Por outro lado, essas mesmas características são os principais impedimentos ao estudo das relações entre os seres vivos com seu meio natural e da sua adaptação ao ambiente (DELAMARE-DEBUTTEVILLE, 1951; WIECECK; MESSINGER, 1972; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Assim, a vida microbiana no solo ocorre num local particular denominado microhabitat ou microsítio, podendo ser na serapilheira, na zona de transição e no solo propriamente dito. São locais onde as células, populações ou comunidades microbianas são encontradas e cujo microambiente influencia o seu comportamento. Vários fatores físicos e químicos atuam em conjunto, determinando as condições ambientais que são dinâmicas. Cada solo ou habitat determina uma quantidade de nichos para a comunidade microbiota. Em geral, quanto mais simples o habitat, menor será o número de nichos disponíveis e, quanto mais complexos, maior será o número de nichos, pois a população reflete o seu habitat (CARDOSO et al., 1992; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

A ocorrência dos diferentes tipos de microrganismos e sua respectiva distribuição espacial, também denominada distribuição geográfica, são muito difíceis de serem estabelecidas, devido à existência de inúmeros fatores e reações que controlam o ambiente biótico e abiótico. Porém, mostra a relação que existe com as condições ambientais dominantes, dentro dos limites de sua bagagem genética, o que possibilita a sobrevivência em estado de dormência, inerente ou imposta pelas condições naturais do ambiente em que vive, ou atuando como um microrganismo saprófito, parasito, simbiote, ou ainda comensalista. Isso vem demonstrar o quanto uma comunidade microbiológica depende do meio em que vive, mas também, da base genética que possui, da

conseqüência de mutações, hibridações, heterocarioses, parassexualidades e heranças citoplasmáticas na fase considerada ativa da microbiota (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Assim, a densidade populacional, atividade e sobrevivência dos diversos grupos existentes numa comunidade dependem (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002):

- a) da estrutura de sobrevivência, da dormência e de seu ciclo vital no solo;
- b) das inúmeras condições que influem na sobrevivência dessas estruturas, antes e depois que ocorre a germinação ou crescimento dos propágulos;
- c) dos fatores que controlam ou influem, afetando a produção dessas estruturas;
- d) da estrutura e da forma como se organizam em seu microhabitat para sobreviver, bem como realizar suas atividades;
- e) da sua diversidade fisiológica, conseqüentemente da sua capacidade em utilizar os diferentes substratos;
- f) da sua diversidade fisiológica quanto ao número de hospedeiros principais e alternativos, como simbioses e parasitas;
- g) da capacidade de serem competitivos;
- h) do grau de saproficidade;
- i) das flutuações populacionais, segundo a temperatura;
- j) das estratégias de sobrevivência;
- k) da suscetibilidade das microbiotas.

Além desses, alguns microrganismos produzem substâncias que podem ser tóxicas para outras espécies, atuando no controle de espécies competidoras. Existem ainda, microrganismos que podem inativar totalmente os antibióticos através de substâncias desintoxicantes que, possivelmente os oxidam, desdobrando-as em substâncias inofensivas (BACHELIER, 1963; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

De acordo com Moreira e Siqueira (2002), a atividade dessas microbiotas no solo e demais fatores são conseqüências da somatória da atividade das células individuais, que pode ser estimada pelas avaliações feitas no metabolismo global do solo ou através da quantidade de determinados processos, como:

- a) taxa de respiração ou respiração edáfica, que é medida através da liberação de CO₂ ou consumo de O₂;
- b) produção de ATP, liberação de calor e biossíntese de macromoléculas (proteínas e ácidos nucleicos);
- c) taxa de transformação do nitrogênio [amonificação, nitrificação, desnitrificação e fixação biológica de nitrogênio (atividade da nitrogenase)];
- d) consumo de substratos e acúmulo de produtos específicos.

A densidade da população microbiana em relação ao número de células viáveis, número total de células, biomassa, taxa de crescimento e distribuição, tempo de geração da comunidade, expressa que, quanto maior o número de organismos presentes, menor será o tempo de geração, ou de organismos próprios do solo (SIQUEIRA; FRANCO, 1998). Decorrente desse e demais fatores, a ocorrência e a distribuição espacial dos microrganismos no solo tem sido a grande preocupação de pesquisadores, razão pela qual existem observações “*in situ*”, através de microscópios eletrônicos, para melhor visualizar sua distribuição entre os componentes inertes do sistema solo-planta, e no qual foi detectada sua interação com as argilas e substâncias húmicas. Tais estudos mostram que os microrganismos ocupam, em geral, menos que 0,5 % do espaço poroso do solo. Esses métodos microscópicos, juntamente com os testes bioquímicos, têm demonstrado que apenas algumas células microbianas entre 15-30% das bactérias e 2-10% dos fungos do solo são ativos fisiologicamente. Também têm demonstrado que a maioria desses microrganismos encontra-se em estado dormente, ou mesmo mortos, evidenciando as más condições do solo, decorrente de inúmeros fatores como a ação antrópica e o clima (SIQUEIRA; FRANCO, 1998).

Outros estudos mostram que solos dos “cerrados” são pobres em espécies bacterianas e relativamente mais ricos em actinomicetos e fungos (SIQUEIRA; FRANCO, 1998). Tudo indica que no cerrado a principal unidade edáfica é o Latossolo, mas as áreas de Areias Quartzosas são muito extensas. São solos que perderam muitos cátions por lixiviação e os teores de cálcio, potássio e magnésio são baixos. A caolinita e os óxidos de ferro e de alumínio compõe a maior parte da fração argila, o que justifica a grande capacidade de

adsorção de ânions desses solos. Também a acidez do solo é alta, já que o alumínio é o cátion trocável que aí mais se encontra (BRADY, 1983). O fósforo é pouco disponível, decorrente da alta capacidade de fixação, ou forte retenção deste elemento (OSAKI, 2005).

Os microrganismos do solo não habitam livres na solução do solo. As bactérias se concentram dentro, ou nas proximidades dos peletes fecais da pedofauna, em remanescentes da parede celular das raízes embebidas no mucilagem e em colônias, nos pequenos espaços vazios existentes entre as partículas do solo, nos agregados argila-matéria orgânica. Também vivem nos filmes de água para absorção de nutrientes e manter a superfície celular. Os fungos ocorrem em maior número na rizosfera e nos poros do solo, próximos às raízes. Nos agregados ocorrem as bactérias esporulantes, actinomicetos e fungos vivendo na superfície, enquanto as bactérias gram negativas predominam no seu interior (SIQUEIRA; FRANCO, 1998). O ambiente ao redor das raízes ou o volume de solo é uma região que tem a influência direta ou indireta, biológica e bioquimicamente das raízes. Ao mesmo tempo, representa uma região de intensa atividade microbiana e microcosmo em equilíbrio. Compreende a composição da comunidade biológica e microbiológica referente ao número de espécies e indivíduos, biomassa e distribuição espacial das populações. Refere-se, ainda, à quantidade e a distribuição dos componentes abióticos e à faixa gradiente das condições ambientais em cada camada, que constituem os horizontes do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). As diferenças na biomassa microbiana, de resíduos vegetais e da matéria orgânica ao longo do perfil do solo é um dos indicativos que pode mostrar a distribuição dos microrganismos nesses horizontes.

A habilidade das populações que habitam subcamadas para utilizar os substratos é diferente quando se compara a comunidade biogênica superficial, visto que os horizontes do solo na seqüência decrescente, ou seja, com o aumento da profundidade sofrem a influência de fatores bióticos (raízes, exsudatos) e abióticos do solo (RICKLEFS, 1996; TURCO; BLUME, 1999).

A serapilheira é o local perfeito para as atividades decompositoras dos microrganismos como fungos, bactérias e actinomicetos. A serapilheira mantida

na superfície e que constitui uma fonte de carbono orgânico e de nutrientes no solo, varia menos em temperatura e umidade, mantendo um ambiente mais equilibrado. Por outro lado, Chaves e Correa (2005) sugerem que a serapilheira de pinus não representa um aumento efetivo de MO no solo e que a espessa liteira formada constitui uma proteção eficaz contra as variações térmicas e de umidade. A permanência da serapilheira condiciona o sistema solo-planta uma dinâmica própria, aumentando a atividade biológica e microbiológica na superfície e nas camadas superficiais do solo. Os sistemas com maior produção de biomassa vegetal e acúmulo de serapilheira na superfície protegem mais o solo, havendo um decréscimo nas variações térmicas, hídricas e diminuição da erosão, causando mudanças quali-quantitativas na sobrevivência e atividade dos microrganismos (BALOTA; ANDRADE, 1999; COLLOZZI FILHO et al., 2002; VARGAS; SCHOLLES, 2000)

Também foram observados maiores valores para a biomassa microbiana total e para as contagens das bactérias na camada de solo que vai de 0-5 cm de profundidade, além de valores maiores para a biomassa e população microbianas, resultantes do acúmulo de resíduos vegetais e de nutrientes. Além disso, foram ainda observadas que nesta camada habitam e proliferam diversos grupos de microrganismos que interagem e competem por recursos bióticos e abióticos. Esse horizonte é um local que oferece ambiente especial, que estimula o desenvolvimento das microbiotas, por isso, é possível observar que a distribuição da matéria orgânica ao longo do perfil do solo reflete as quantidades e diferenças biogênicas (VARGAS; SCHOLLES, 2000).

Geralmente, a biomassa microbiana decresce ao longo do perfil do solo e o tamanho da comunidade de fungos decresce mais rapidamente do que a comunidade de bactérias (BALOTA; ANDRADE, 1999; VARGAS; SCHOLLES, 2000).

A zona de transição, caracterizada como a camada existente entre a serapilheira e o solo, representa o compartimento de maior fonte de carbono e energia aos microrganismos do solo, devido à sintetização de alimento, resultante da conjunção de fatores como a maior disponibilidade de matéria orgânica, maior retenção de umidade à presença de raízes e melhores

condições físicas do solo. De acordo com Santos e Camargo (1999), a zona de transição é a porção mais dinâmica e provavelmente a mais variável, devido ao maior número de microbiotas responsáveis pela tarefa de fragmentação das cadeias carbônicas. A densidade populacional na camada fina do solo aderida às raízes é muito alta e a interação metabólica entre os microrganismos e as raízes é bastante complexa (ANDRADE, 1999).

A ocorrência e a distribuição espacial dos microrganismos no solo está, também, fortemente relacionada à existência de microhabitat desfavorável, cujo fator dificulta a dispersão e a sobrevivência por tornar a microbiota extremamente suscetível. Esta condição adversa ocorre em espaços sem vegetação e o solo é constituído por areia, seco e pode atingir elevadas temperaturas, ou solo de terras altas improdutivas, afetado por elevadas temperaturas. Esses fatores criam barreiras para que grupos de tamanhos reduzidos e com mecanismos de proteção limitados contra a perda de água possam se dispersar (SANTOS; CAMARGO, 1999).

Em áreas degradadas de regiões tropicais, a revegetação é diretamente relacionada com a interação entre raízes e grupos funcionais de microbiotas, o que ocorre com as plantas pioneiras. O que pode acontecer, ainda, é quando a planta entra em senescência, a atividade microbiana reduz, diminuindo os exsudatos liberados pelas raízes. A planta dá sinais químicos que atraem as microbiotas, a fim de poderem se alimentar e, assim, suprir suas exigências. Os exsudatos favorecem esses microrganismos, que, com o passar do tempo, vão cada vez mais se enriquecendo com compostos elaborados agora, pelo próprio microrganismo (LYNCH; WHIPPS, 1990; ANDRADE, 1999).

2.3 CICLO BIOGEOQUÍMICO

2.3.1 Ciclagem de Nutrientes em Ecossistemas Florestais

Atualmente vem sendo dada expressiva importância à função dos microrganismos na ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais, decorrente da sua significativa participação na decomposição de materiais e,

conseqüentemente, de produtos que servirão de nutrientes para que as florestas sejam mais produtivas (BROWN; LUGO, 1982; SAMPAIO et al., 1993).

O circuito de uma substância através de um ecossistema, denomina-se ciclagem biogeoquímica e refere-se às trocas químicas entre o solo e a planta, distribuição desses nutrientes na planta, lixiviação pela chuva, desfoliação por herbívoros e a decomposição da serapilheira, sendo suas principais fontes de entradas nutricionais a água das chuvas, o intemperismo das rochas, poeira, fixação biológica de nitrogênio, e adubações, como no caso de florestas plantadas (SANTOS; CAMARGO, 1999).

Além disso, o ciclo biogeoquímico é relacionado aos movimentos circulares dos elementos químicos referentes aos fatores abióticos e bióticos, que seguem direções características, transitando do ambiente para os microrganismos e vice-versa. Os elementos minerais são absorvidos pelos tecidos das plantas e microrganismos em crescimento, quando então, são transferidos de diversas maneiras, retornando ao ambiente após sua morte. Assim, os ciclos biogeoquímicos são constituídos pela soma dos ciclos específicos que se desenvolvem nas condições e situações de cada um dos ecossistemas, consideradas isoladamente e das relações laterais que formam uma paisagem ou catena, isto é, física devido à topografia; biológica devido ao transporte de diásporos, deslocamento de animais e aves e, destacadamente das químicas, principalmente do carbono (C), da água (H₂O) do nitrogênio (N), do fósforo (P), do enxofre (S), dos cátions e ânions biogênicos, que os unem e que hoje é conhecida como “ecologia química”. Por isso, o estudo da distribuição dos bio-elementos no ambiente e nos microrganismos e a análise dos seus ciclos constitui o ciclo biogeoquímico (GOLLEY, 1983; ODUM, 1988).

Diversas são as etapas dos ciclos biogeoquímicos dos nutrientes realizadas pela versatilidade do metabolismo dos microrganismos, razão pela qual pode-se observar que uma única espécie de bactéria é capaz de utilizar diversos tipos de carboidratos, mas, quando há falta deles, pode utilizar outros compostos. Deve-se também destacar que os diferentes componentes são degradados por grupos específicos de organismos, grupos funcionais microbianos e seus processos microbiológicos no sistema solo-floresta,

entretanto são áreas ainda bastante desconhecidas (GOLLEY, 1983; ODUM, 1988).

A ciclagem biogeoquímica num ecossistema florestal, seja natural ou plantado, é caracterizada por duas principais formas: ciclo geoquímico e ciclo biológico. Os componentes geológicos que fazem parte do ciclo biogeoquímico são a atmosfera, crosta terrestre, oceanos, lagos e rios (ODUM, 1988).

O ciclo geoquímico, que é um ciclo mais amplo e se refere às entradas, tais como: precipitações atmosféricas úmida e seca, pela absorção de gases, incluindo a fixação biológica do nitrogênio e a decomposição da rocha matriz e saídas que se referem à exportação dos elementos minerais no ecossistema. A exportação é a perda dos elementos. Em geral, ocorre pela lixiviação de soluções do solo, através das águas de drenagem (rios); da volatilização de elementos e erosão (ODUM, 1988).

Quanto ao ciclo biológico, este é relativo ao fluxo de nutrientes no sistema solo-planta, ou seja, trata da movimentação de nutrientes entre tecidos da própria vegetação. O ciclo bioquímico que se insere no ciclo biológico e, que trata da translocação de elementos minerais armazenados em tecidos velhos ou senescentes para os mais novos ou em formação, é um processo de expressiva importância na manutenção de nutrientes mais móveis dentro da planta (REMEZOV, 1959; DUVIGNEAUD, 1980; GOLLEY, 1983; ODUM, 1988).

Os microrganismos que fazem parte do ciclo biológico são decompositores detritívoros especializados, em geral fungos, bactérias e actinomicetos que consomem substâncias como a celulose e produtos nitrogenados dos resíduos, sendo que seus processos metabólicos são aqueles que liberam os nutrientes inorgânicos e os disponibilizam para que sejam utilizados pelas plantas e outros seres vivos (DUVIGNEAUD, 1980; VITOUSEK; SANFORD JR, 1986; PEÑA, 2002).

2.3.2 Atividade Microbiológica

Os microrganismos são responsáveis direta ou indiretamente por diversos processos microbiológicos e bioquímicos, os quais exercem grande influência na

produtividade e sustentabilidade dos ecossistemas terrestres. São eles componentes fundamentais nos processos de transformações e transferência de carbono, energia e nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera, representando a base da sustentabilidade de qualquer ecossistema em equilíbrio (SIQUEIRA, 1993). São eles, ainda, capazes de sobreviver e se multiplicar nas mais diversas condições, variando na forma, número e função.

Entre as principais atividades dos microrganismos estão a decomposição da matéria orgânica, produção de húmus, ciclagem de nutrientes e energia, fixação de nitrogênio atmosférico e produção de compostos complexos que propiciam a agregação do solo (FREIRE, 1975; ODUM, 1980; SIQUEIRA, 1993).

A decomposição primária é um processo biocatalítico complexo relacionado com a ação de enzimas que produzem monômeros específicos, de acordo com a composição do resíduo e da água existente no substrato. Isto significa que todos os microrganismos do solo necessitam de água para a ação de enzimas com a qual se processa a reação química, além de absorverem nutrientes e formar a superfície celular de forma íntegra (FREIRE, 1975; SIQUEIRA, 1993).

2.3.3 Fatores que Influenciam a Atividade Microbiológica

- **Clima**

As condições de clima quente ou frio também influem direta ou indiretamente no intemperismo das rochas, na conservação e fertilidade do solo, textura, cor, compactação e a quantidade de organismos que vivem no solo.

A população microbiana varia de acordo com as características das espécies vegetais, edáficas e climáticas específicas de cada ambiente (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Os fatores climáticos influem, também, na velocidade e no vigor da hidratação, oxidação, hidrólise, entre outros processos químicos do solo. Clima tropical úmido favorece a intemperização, conseqüência de alta temperatura e umidade que ocorre nessas regiões, causando remoção de elementos por lixiviação. O intemperismo, que é um processo físico, químico e biológico, atua na litosfera em conjunto, causando a desagregação física e a

decomposição química dos minerais das rochas expostas às condições atmosféricas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Em geral, os solos muito intemperizados de regiões tropicais apresentam algumas formas químicas indisponíveis para as plantas, como é o caso do fósforo. Certas bactérias podem solubilizar este fósforo (fosfatos), tornando-os disponíveis às plantas. Já determinados tipos de fungos, através de suas hifas e em associação com raízes, aumentam a área de absorção de P e água para as plantas. Nas florestas tropicais, a umidade e a temperatura relativamente alta provocam rápida decomposição da serapilheira e liberação dos nutrientes (PEÑA, 2002). Regiões subtropicais acumulam mais matéria orgânica que a tropical, consequência da menor velocidade de decomposição dos materiais devido a temperaturas amenas (CATTELAN, TORRES; SPOLADORI, 1997).

A estação climática (verão, outono, inverno e primavera) condiciona o tipo de revestimento vegetal e o seu dossel, principal matéria prima para a formação da serapilheira e da elaboração da matéria orgânica. Temperaturas de 28°C a 35°C e umidade próxima a capacidade de campo favorecem as reações físicas e químicas, maximizando as atividades microbiológicas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Rigobelo e Nahas (2004), relatam maior acumulação de serapilheira para a estação das chuvas e conseqüentemente ao aumento da biomassa vegetal de pinus. Autores como Guo e Sims (1999) também observaram maior produção anual de serapilheira para o período de verão, para o eucalipto.

Essas condições propícias favorecem as taxas de reação microbianas, sendo maiores em temperaturas próximas à 28°C e decrescem drasticamente em temperaturas menores que 25°C e maiores que 35°C (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). A estação influencia a população microbiana resultante da maior ou menor quantidade de resíduos que caem sobre o solo. Portanto, a temperatura influi nas reações fisiológicas, como também nas características físico-químicas do solo, conseqüentemente no ambiente onde vivem os microrganismos (HEANEY; PROCTOR, 1989; JENY et al., 1949¹, citado por PORTES, 2000).

¹ JENY, H.; GESSEL, S.P.; BINGHAM, F. T. Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. **Soil Science**, Philadelphia, USA, n. 68, p. 419-432. 1949.

No estudo realizado por Souto (2006), avaliando o comportamento ecológico de fungos, foi observado que a redução do conteúdo de água no solo promoveu decréscimos consideráveis na população fúngica e o aumento das precipitações, em junho e julho/2004, elevou o conteúdo de água no solo em torno de 10%, favorecendo o aumento da população. Além da influência da umidade no desenvolvimento da comunidade fúngica, Souto (2006) verificou maior população de fungos no mês de novembro/2003, atribuindo este acréscimo ao aumento da matéria orgânica na superfície e ao maior teor de umidade neste período.

Em regiões temperadas, a população microbiana do solo aumenta na primavera e outono e diminui no inverno e verão seco. Em regiões tropicais, a população aumenta nos períodos de chuva e diminui nos períodos de seca (FREIRE, 1975, ALEXANDER, 1980). Regiões subtropicais (frias) provavelmente favorecem mais a degradação dos resíduos culturais, aumentando a população microbiana na primavera e outono e diminuindo no inverno e verão sêco. Nos invernos frios e verões quentes e secos, as reações bioquímicas reduzem-se e a população microbiana do solo tende a ficar inativa (CATTELAN, TORRES; SPOLADORI, 1997).

A dinâmica da população microbiana na decomposição do serapilheira foi estudada por Selle (2007) que considera, de forma semelhante aos demais autores, que climas mais secos e com temperaturas mais elevadas resultam no acúmulo da serapilheira e a decomposição ocorre com maior rapidez e maior disponibilização mais imediata dos nutrientes em locais onde ocorrem maiores precipitações.

Diminuindo a temperatura e aumentando a precipitação, a decomposição torna-se mais lenta e o coeficiente de decomposição em diversas altitudes diminui à medida que aumenta a altitude (HEANEY; PROCTOR, 1989; JENY et al., 1949¹, citado por PORTES, 2000). Eventos de intempéries climáticas como excesso de chuvas com ventos fortes também pode modificar o aporte de serapilheira de um ano para outro, dependendo da intensidade com que ocorrem (MASON, 1980).

- Umidade

Supõe-se que os filmes de água (lâmina de água que permeia os colóides do solo, expressa em mm) sejam os principais sítios de atividade microbológica porque, apesar da movimentação vigorosa, as células, que por natureza já possuem propriedades eletrocinéticas, não são removidas. Os filmes de água são considerados habitats do solo, hoje conhecidos por biofilmes, podem ser encontrados nas interfaces sólido-líquido, líquido-gasoso e líquido-líquido (PAUL; CLARK, 1989; ROWELL, 1981² citado por MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Além disso, a água é também importante no movimento dos microrganismos unicelulares, razão pela qual são encontrados nos filmes de água, enquanto os fungos filamentosos e actinomicetos conseguem atravessar os vazios insaturados, através do crescimento dos micélios. Os ciclos de seca/umidade, inclusive congelamento e aquecimento, são fatores que auxiliam na liberação de substratos das superfícies das argilas ou de células mortas, estimulando a atividade metabólica dos microrganismos dos solos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

O potencial hídrico no solo possui dois componentes: o componente matricial e o potencial osmótico (REICHARDT, 1987).

Assim, o potencial matricial relaciona-se com o fenômeno de capilaridade e adsorção, que dependem do arranjo poroso, distribuição de poros, de acordo com o seu diâmetro médio, tensão superficial da água, afinidade entre a água e as superfícies sólidas, superfície específica do solo, entre outros (REICHARDT, 1987).

Já o potencial osmótico representa a água em solução do solo, ou seja, íons e outros solutos na água do solo, quando então a água adquire uma energia potencial osmótica. Tanto o potencial matricial quanto o osmótico reduzem a energia livre da água, o que faz de ambos potenciais negativos. Estes dois potenciais determinam o estresse que afeta os microrganismos para obter água. Na ausência de água, o microrganismo não se dinamiza, limitando o crescimento e a reprodução ou multiplicação de forma no mínimo satisfatória (REICHARDT, 1987).

² ROWEL, R. N. 1981. **The microbiology of terrestrial ecosystems**. New York: Longman Scientific & Technical, 1981.

Variações sazonais de umidade e calor afetam as populações microbiológicas do solo e sua respectiva atividade. Em geral, potencial hídrico de 0,01 MPa (matriz potencial de água ou retenção matricial do solo) é ótimo para a dinamização microbiológica. Em baixos potenciais a maior parte das bactérias é inativa, enquanto fungos filamentosos não cessam o seu metabolismo. Espécies de fungos e bactérias esporulantes, como é o caso do *Clostridium*, toleram potenciais hídricos bem menores que bactérias não esporulantes como o *Rhizobium*, porque os esporos são estruturas de tolerância a diversos estresses. Solo demasiadamente seco causa a morte de células vegetativas, aumentando a esporulação e garantindo a sobrevivência (HARRIS, 1981; PAUL; CLARK, 1989).

O movimento de bactérias é limitado em baixos potenciais (< 0,5 MPa). Portanto, em potenciais hídricos altos, as células podem se mover e metabolizar na solução do solo sem que haja necessidade de ter colóides orgânicos e minerais, ao contrário, em baixos potenciais uma fina camada de água é adsorvida aos colóides e células, fazendo com que aumente a concentração de elementos nutricionais e com isso, maior retirada pelos microrganismos, o que causará maior competição, estando sujeito às reações das propriedades eletro-químicas das superfícies. A água do solo também influi na aeração, pH da solução de forma indireta, através do aumento da concentração do CO₂, pressão osmótica, natureza e quantidade, além de difusão de materiais dissolvidos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

A água em conjunto com a temperatura influi nas atividades microbiológicas, porque afeta, além das reações fisiológicas das células, as características físico-químicas ambientais, como o volume do solo e o potencial de oxi-redução, pois os microrganismos obtêm sua energia da oxidação de materiais reduzidos. Isto significa que a vida dos microrganismos pode ser definida como uma reação contínua de oxi-redução. Também a pressão, tensão e estrutura da água influenciam significativamente o ambiente e a vida microbiana (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Em geral, a população microbiana é determinada segundo a distribuição das chuvas e do calor, devido à disponibilização da água no solo, que, ao se unir

com o calor, disponibilizam nutrientes para produzir a fitomassa que, posteriormente, contribuirá para o aporte de resíduos orgânicos (BRITTEZ, 1994; SANTOS; CAMARGO, 1999). Os íons contidos na chuva são provenientes de diversas fontes, incluindo poeiras terrestres, gases poluentes, emissões vulcânicas e emissões de sais marinhos (BRITTEZ, 1994).

A água da chuva que atravessa o dossel, chamada “precipitação interna” e a água de escoamento dos troncos, constituem-se de alta concentração de diversos nutrientes, resultante do arrastamento das partículas da atmosfera e daquelas depositadas sobre a vegetação. A água que atravessa a vegetação, seja de floresta natural ou plantada, acrescenta mais da metade de potássio em circulação, mais de um terço da quantidade fósforo e magnésio, e menos de um terço de nitrogênio e cálcio, o que significa que, para determinados nutrientes, o processo da lavagem vegetal, através da água da chuva, pode ser mais efetivo que a própria deposição da serapilheira na ciclagem de ecossistemas florestais (ARCOVA; CICCIO, 1987).

Além disso, a água da chuva lixivia órgãos vegetais ou mortos, exsudatos das plantas, excrementos e cadáveres de animais menos a porção retida (troca iônica) ou adsorvida e absorvida durante o translocamento (CLAYTON, 1972). Assim, a água que fica retida no solo, isto é, a umidade do solo, é representada pelo teor de água (concentração) em percentagem e que tem dois aspectos essenciais: é o maior constituinte celular, com uma contribuição de 70 a 80%, condicionando o crescimento das plantas e o melhor desenvolvimento de microrganismos aeróbios. Quando há umidade em excesso, há diminuição ou ausência de O_2 , propiciando condições ótimas para o desenvolvimento dos seres anaeróbios (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

- Cobertura Vegetal

A vegetação e o clima também governam a variabilidade horizontal dos materiais que caem sobre o solo, denominada serapilheira, mostrando ainda que, quanto maior a diversidade da comunidade vegetal, mais heterogênea será a serapilheira em pontos adjacentes. Entretanto, a heterogeneidade vertical da serapilheira, isto é, a formação diferenciada das camadas ou horizontes, é

conseqüência da velocidade de decomposição (SANTOS; CAMARGO, 1999). O material vegetal que forma a serapilheira de um solo sob floresta, seja natural ou plantada, é uma mistura de vários componentes da estrutura da planta, troncos, galhos, folhas, flores, frutos, sementes e acículas. A vegetação e as suas raízes são, ainda, fontes de carbono no solo, que estimulam a atividade dos microrganismos, colocando o ecossistema em uma nova situação de equilíbrio (BALOTA; ANDRADE 1999).

Em trabalho realizado por Valpassos et al. (2007) foram estudados três sítios, uma área degradada que foi reflorestada com *Corymbia citriodora* e *Leucaena leucocephala*, um sítio onde houve a remoção da vegetação e do solo e outra área dentro da Floresta Atlântica, todas localizadas na Ilha Solteira/SP, com o objetivo de estudar a recuperação da área pela avaliação das comunidades microbiana e sua atividade. Os autores verificaram que as áreas vegetadas apresentaram as maiores populações de bactérias, fungos, actinomicetos e oxidadores de nitrito, sugerindo que o efeito combinado do tipo de vegetação e a degradação da matéria orgânica justificam o maior número de microrganismos nas áreas florestadas.

A decomposição dos resíduos se dá de acordo com fatores específicos de cada um dos seus componentes principais, já que esses variam segundo a sua forma de assimilação ou persistência no solo. Os resíduos vegetais, ditos “prontamente assimilável”, são os substratos considerados não persistentes e, cuja assimilação lenta, permite sua acumulação no solo no qual se estabilizam (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Essa diversificação ocorre devido às características próprias das estruturas químicas das moléculas, a bioquímica (enzimas e rotas degradativas) e a capacidade degradadora dos microrganismos, além das funções no tecido vegetal, como no caso da celulose, que compõe a parede celular. Também, a maior ou menor concentração de determinados componentes faz o material degradar mais rápido ou mais lentamente. A celulose, por exemplo, é decomposta em menos de um ano, enquanto outras frações resistem à decomposição. Materiais constituídos de teores elevados de lignina são de difícil decomposição, persistindo por mais tempo no solo. A lignina, a casca de

madeira, a turfa e acículas de pinus são consideradas recalcitrantes, tendendo a se acumular no solo, imobilizando carbono e nutrientes (FREIRE, 1975; SANTOS; CAMARGO, 1999; MOREIRA;SIQUEIRA, 2002).

As acículas são constituídas de lignina, de difícil e lenta decomposição, enquanto que as folhas representam, em média, aproximadamente 70% da serapilheira e apresentam a maior taxa de decomposição (SANTOS; CAMARGO, 1999).

Os mesmos autores estudando a decomposição de folhas de diferentes espécies de leguminosas, observaram que a maior influência no substrato foi provocada pelos materiais que apresentavam teores de compostos fenólicos do que aqueles com teores de nitrogênio ou lignina, sugerindo que o nitrogênio ou lignina ligado aos compostos fenólicos são de difícil decomposição.

Assim, para o entendimento da decomposição dos resíduos, é fundamental entender determinados aspectos específicos de certos substratos que contém, por exemplo, a celulose, a hemicelulose e a lignina (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Os tecidos que contém elevada concentração de N, P, K e Mg e baixa relação C/N favorecem a decomposição da serapilheira. Tecidos ricos em material estrutural, como celulose $[(C_6H_{10}O_5)_n]$, hemicelulose e lignina, são mais resistentes à decomposição do que tecidos que contém grande quantidade de amido, proteínas e açúcares (WHITE, et al., 1988). A celulose é um componente da parede celular constituída por moléculas lineares de glicose. As hemiceluloses encontram-se intercaladas às microfibrilas de celulose, dando elasticidade e impedindo que elas se toquem. Já a lignina é uma substância de origem orgânica, de natureza lipídica, como também a cutina e a suberina. A lignina é um dos principais constituintes da madeira, responsável por 25% da fitomassa seca produzida anualmente na biosfera (35% da madeira) que ocorre nas plantas terrestres, associada à parede celular e confere maior rigidez. Sua função biológica é a de proteger o tecido vegetal contra a oxidação e a ação de microrganismos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002)

A decomposição da serapilheira no solo ocorre em estádios com diferentes características, com uma seqüência cinética de degradação, como é

demonstrada a seguir: a) açúcares, amido; b) proteínas; c) celulose d) lignina. A serapilheira que não se decompõe rapidamente é resultante da cinética ser controlada por uma série de fatores bio-físico-químicos que dependem da natureza dos constituintes vegetais e dos organismos decompositores no processo, como é o caso da celulose microfibrilar (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Quanto maior a velocidade de decomposição do material orgânico, menor será o grau de persistência à degradabilidade microbiana. A celulose é decomposta mais rapidamente do que a lignina, sendo classificada no grau não persistente à degradabilidade microbiana. Já a celulose microfibrilar enquadra-se no persistente a muito persistente. A celulose ($C_6H_{10}O_5$)_n é um polissacarídeo, principal componente dos vegetais e de maior ocorrência natural, constituída por moléculas lineares de glicose. Ela é também a representante da maior parte do CO₂ fixado pelas plantas. A celulose é formada por microfibrilas que se reúnem em feixes maiores (fibrilas). As microfibrilas são sintetizadas por enzimas que se encontram na membrana plasmática. A celulose está associada a outros polissacarídeos, principalmente hemiceluloses (xilicanos e xilanos) e compostos pécticos (galacturonanos) (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). De acordo com esses autores, a celulose é insolúvel em água, parcialmente resultante do seu alto peso molecular, além de não ter sabor. A decomposição da celulose no solo é feita por enzimas (celulases) elaborada pelos fungos, sobretudo pelos gêneros *Trichoderma*, *Chaetomium*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium* e *Phoma*, além de bactérias aeróbicas e anaeróbicas, tais como:

- a) Anaeróbias/aeróbias facultativas: *Acetovibrio*, *Bacteroides*, *Butyrivibrio*, *Caldocellum*, *Clostridium*, *Erwinia*, *Eubacterium*, *Micromonospora*, *Pseudonocardia*, *Ruminococcus* e *Thermoanaerobacter*,
- b) Aeróbios/anaeróbios facultativos: *Acidothermus*, *Actinoplanes*, *Actinopolyspora*, *Archangium*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Cellulomonas*, *Celvibrio*, *Corynebacterium*, *Cytophaga*, *Frankia*, *Herpetosiphon*, *Micromonospora*, *Polyangiu*, *Pseudomonas*, *Serratia*, *Sorangium*, *Sporocytophaga*, *Staphylococcus*, *Streptomyces*, *Thermoactinomyces*, *Thermonospora* e *Xanthomonas*. Também os fungos que causam a podridão parda, por não

conseguirem metabolizar anéis aromáticos, ou seus produtos alifáticos, são bastante eficientes na degradação da celulose e hemicelulose.

As microbiotas decompositoras da celulose são denominadas microrganismos celulolíticos que, ao atacarem a celulose, fragmentam a molécula de alto peso molecular, de conformidade com os planos de clivagem, desdobrando-a em celobiose, que é um dissacarídeo, bem como glicose livre, através da celulase. Já a oxidação da glicose é feita pelos microrganismos aeróbios, enquanto os anaeróbios fermentadores produzem acetato, propionato, butirato, H₂ e CO₂, entre outros. Os microrganismos decompositores de celulose que predominam nos solos úmidos são os fungos, ao contrário, nas regiões semiáridas são as bactérias decompositoras que predominam. Além de microrganismos, fatores abióticos, como físicos e químicos, (água, pH, calor e frio e oxigênio) influem na decomposição da celulose. É o caso de fungos, que agem predominantemente em pH 5,5 para menos, enquanto as bactérias do gênero *Cytophaga* são encontradas em pH 5,7 a 6,2 e em pH neutro a alcalino, as bactérias do gênero *Vibrio*. Em temperaturas altas, por ocasião da compostagem de resíduos com grande quantidade de celulose, ocorrem predominantemente as bactérias celulolíticas, bem como espécies, como *Clostridium*, que aparecem como decompositores anaeróbios de celulose (STEVENSON, 1986; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

A hemicelulose é um polissacarídeo que não apresenta semelhança estrutural com a celulose. É constituído por xilose, arabiose entre outras pentoses e hexoses (manose, glicose e galactose), e, às vezes, por ácidos urônicos (glucurônico e galacturônico), e é o segundo maior componente dos vegetais. Como exemplos de hemicelulose citam-se as xilanas, mananas e galactanas. A pectina é outro componente de significativa importância da lamela média da parede celular das plantas, que dá uma consistência gelatinosa à matriz celulósica e se encontra associada a hemicelulose (STEVENSON, 1986; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002)

A decomposição da hemicelulose torna-se difícil quando se liga à outras substâncias, como fibrilas de hemicelulose. Diversas enzimas são envolvidas na

sua decomposição, produzidas por fungos e bactérias, sendo os actinomicetos os que possuem ação mais prolongada. Determinados fungos e bactérias (gênero *Bacillus*) atuam na degradação; microrganismos patogênicos também atuam na decomposição da serapilheira. Os fungos da podridão-parda são muito eficientes na degradação da hemicelulose. Esses fungos se diferenciam da podridão branca, porque não conseguem metabolizar os anéis aromáticos ou seus produtos alifáticos e são, por esta razão, mais eficientes quando se trata de decomposição da celulose e hemicelulose (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002).

A lignina é um biopolímero amorfo natural que confere alta estabilidade química, além de ser recalcitrante, devido ao seu peso molecular e a estrutura tridimensional, que lhe proporciona alta estabilidade química. Sua estrutura é muito complexa e sua decomposição é feita por laccases (isoenzimas) e peroxidases. A lignina em substratos ligno-celulósicos protege a celulose e a hemicelulose das enzimas que digerem os polissacarídeos, cujos monômeros entram na célula, quando, então, se degradam. É encontrada nas plantas terrestres, sendo um dos principais constituintes da madeira, associado à parede celular, cuja função é conferir rigidez. Sua estrutura complexa é responsável por cerca de 25% da fitomassa seca da produção anual na biosfera. O acúmulo da lignina na serapilheira é resultante da velocidade de decomposição dos materiais conforme o ecossistema (SANTOS; CAMARGO, 1999; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

A degradação da lignina no solo se dá em geral por fungos especializados da ordem *Agaricales*, como basidiomicetos e determinados ascomicetos, sendo um dos representantes o *Pleurotus ostreatus* e o *Phanerochaete versicolor*, que podem degradar tanto a lignina quanto a celulose. Além desses, o *Phanerochaete chrysosporium* é o típico decompositor da lignina (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Há estudos mostrando que bactérias como *Bacillus*, *Streptomyces* e *Nocardia* são também microrganismos que degradam complexos ligno-celulosídicos. Além desses, também os fatores abióticos, como a umidade, temperatura, pH e relação C/N do resíduo influem expressivamente na decomposição da lignina, principalmente na interferência de basidiomicetos

decompositores. Sabe-se, ainda, que a umidade de 60% – 100%, temperatura entre 25°C a 30°C, pH ácido e relação C/N próximo de 25:1, favorecem a decomposição da lignina (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

- Componentes do Solo

Um fator importante que se destaca na atividade dos microrganismos do solo é a profundidade. Normalmente a matéria orgânica diminui abaixo do horizonte A e, como existem mais alimentos e fontes energéticas mais abundantes nele, há aí aumento da população microbiana. Além dessa condicionante, podem ocorrer grandes variações entre ecossistemas distintos, mesmo estando na mesma região, ou em distintas regiões geográficas, ou ainda, variações decorrentes de sistemas de cultivo: se natural ou plantado (FREIRE, 1975; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

De uma forma geral, as bactérias e os actinomicetos preferem pH neutro para alcalino, e os fungos geralmente pH abaixo do neutro (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Dessa forma, os processos microbianos são parte da qualidade do solo e a atividade microbiana pode servir de indicador biológico na compreensão da estabilidade e produtividade dos diferentes ecossistemas, por ser uma das formas de medir o estatus do solo. A alta capacidade produtiva ou qualidade do solo expressa a atividade microbiana saudável (SANTOS; CAMARGO, 1999; TURCO; BLUME, 1999; VARGAS; SCHOLLES, 2000).

Uma população de microrganismos influencia a vida populacional da estação seguinte, seja por uma maior ou menor quantidade de resíduos devolvidos ao solo, seja por uma maior ou menor quantidade de microbiotas (FREIRE, 1975).

2.3.4 Fertilidade de Solos Florestais e Requerimento Nutricional

O solo é o substrato fornecedor de alimentos, mas possui um ambiente em constante modificação; os microrganismos, para sobreviverem, foram se adaptando para utilizar as suas mais variadas fontes, sendo uma delas a nutricional constituída de carbono, macro e micronutrientes. Essa adaptação fez

com que surgissem espécies de microrganismos com extraordinária plasticidade nutricional, cuja alteração das enzimas, permite a sobrevivência nas mais variadas condições de temperatura, umidade, concentração de oxigênio, situações aeróbias ou anaeróbias, litotróficas ou organotróficas. Deste modo, para garantir a vida, os microrganismos do solo, que pertencem à vida mais primitiva que se conhece, formada de uma única célula, para que possam sobreviver, é indispensável que encontrem um meio adequado e suprimento de alimentos, permitindo, assim, iniciar a multiplicação de células ou esporos. Dessa forma, o material celular, constituído de inúmeros elementos nutricionais, deve ter nutrientes disponíveis em seu meio para possibilitar o desenvolvimento e a sua multiplicação, resultando no aumento populacional dos microrganismos (CARDOSO; TSAI; NEVES, 1992).

Os microrganismos do solo precisam digerir seus alimentos extracelularmente para poder absorvê-los. A digestão extracelular de substâncias é mediada por enzimas excretadas pelas células no meio edáfico e, somente depois, podem absorvê-las através de uma membrana. A maioria das bactérias possui normalmente uma, no máximo três enzimas, e os fungos e actinomicetos podem ter mais de uma (CARDOSO; TSAI; NEVES, 1992). Portanto, o solo é o substrato fornecedor de nutrientes, sendo o maior reservatório de nutrientes essenciais aos microrganismos. Segundo Moreira e Siqueira (2002), estima-se que cada célula procariótica tenha, aproximadamente, 25 milhões de macromoléculas de 2500 tipos diferentes, que podem ser agrupadas em proteínas, lipídeos, polissacarídeos, DNA e RNA. Além desses, são encontrados nas células monômeros como aminoácidos, açúcares e nucleotídeos e precursores destes, além de íons inorgânicos. Desses, o carbono, o hidrogênio e o nitrogênio constituem as moléculas orgânicas mais importantes. Também são encontrados P, K, Mg, S, Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, Co, Na, Cr, Ni, W e V como constituintes das moléculas, ou como participantes das diversas reações metabólicas, ou ainda, como fonte de energia para quimiolitotróficos, e como doadores de elétrons para esses e para os fotolitotróficos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

A quantidade e o elemento requerido dependem da espécie de microrganismo. É o caso de N, em que a quantidade total dele no solo é bastante expressiva, entretanto, formas prontamente disponíveis aos microrganismos, dificilmente são suficientes. O N inorgânico pode ser utilizado pela maior parte das espécies, o N orgânico por determinadas microbiotas e o N gasoso somente pelos diazotróficos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Os mesmos autores destacam as espécies que conseguem obter nutrientes de formas abundantes, todavia não disponíveis para grande parte das espécies, ficam ecologicamente em vantagem. É o caso dos microrganismos diazotróficos, que são solubilizadores de fosfato, além de espécies com sistemas proteolíticos ou desaminantes. Quando há limitação na disponibilidade ou deficiência nutricional, haverá problemas que afetam a mineralização, processos fisiológicos e bioquímicos tais como na síntese de enzimas e outros biopolímeros, estabilização de células da parede celular, estrutura terciária do DNA e RNA, divisão celular, ligação de fagos a célula, mobilidade, interações simbióticas.

Nuernbeg et al. (1984) observaram que todos os tratamentos com adubações minerais, organo-minerais e orgânica foram superiores à testemunha, constatando haver resposta significativa da população microbiana em relação à aplicação de elementos nutricionais. Dessa maneira, o conhecimento sobre a fertilidade do solo, como propriedade e característica de um solo, deve ser fundamental para o entendimento da influência de nutrientes minerais na sobrevivência dos microrganismos no solo (SCHLEGEL, 1968).

Deve-se, ainda, relacionar a extensão e a distribuição espacial, pois podem variar muito entre locais com uma distância de milímetros entre si, mesmo em áreas restritas e constituídas pelo mesmo tipo de solo. São razões suficientes para demonstrar a grande dificuldade em se obter informações precisas sobre a composição quali-quantitativa das populações microbianas do solo, dificultando a própria obtenção de amostras representativas (CARDOSO; TSAI; NEVES et al., 1992).

Existem poucos trabalhos que tratam da fertilidade de solos florestais, sejam naturais ou plantados, e seus respectivos componentes nutricionais em

relação aos microrganismos do solo. Os estudos deveriam ser voltados principalmente àquelas regiões mais sujeitas aos impactos antrópicos, onde os ecossistemas primitivos encontram-se em via de desaparecimento. São estudos que se referem aos aspectos nutricionais da sucessão ecológica, envolvendo a dinâmica da ciclagem ao longo do tempo. É fundamental ainda, estudos que envolvam o conhecimento relacionado às características e propriedades do solo, principalmente concernente à atuação da fertilidade do solo na vida das microbiotas e, conseqüentemente, na germinação e crescimento até o desenvolvimento adulto, tanto de espécies plantadas como naturais, para que a riqueza do solo seja um aliado fundamental na prosperidade normal das florestas (SCHUMACHER; BRUCE, 1950; REESE, 1968).

Assim, o solo e sua respectiva fertilidade assumem importante função no estoque de nutrientes essenciais aos microrganismos, tão necessários para a estabilidade e manutenção do ecossistema. Merecem destaque especial, conceitos que identifiquem a fertilidade do solo, como: a soma de fatores químico-físicos e biológicos que caracterizam a construção de um sistema de produção, variando de acordo com cada ecossistema; fertilidade natural do solo ser um dos componentes essenciais da produtividade, já que o solo é uma reserva não renovável. A entrada e a saída de elementos nutricionais é um indicador da variação da fertilidade e sustentabilidade florestal, devido ao fluxo de elementos, nomeadamente solos minerais que ficam expostos ao tempo, e resíduos atmosféricos, com os quais recompõem os nutrientes removidos pelo ecossistema. É comum a fertilidade do solo ser referenciada no ciclo biogeoquímico de nutrientes e caracterizada pela disponibilização de elementos nutricionais à vegetação. É um ciclo dinâmico que tende à otimização do uso de recursos úteis para a vegetação, com os quais representa uma pequena parte do total da reserva de nutrientes do ecossistema (RANGER; TURPAULT, 1999).

Os ciclos biogeoquímicos em ecossistemas florestais, sejam naturais ou plantados, integram a movimentação global dos elementos químicos que ocorrem na biosfera. A ciclagem de nutrientes pode ser analisada através da compartimentalização da biomassa acumulada nos estratos e a quantificação das taxas nutricionais, que se movimentam entre seus compartimentos, pela

produção de serapilheira, sua decomposição, lixiviação entre outros. Portanto, cada ecossistema tem sua forma de armazenar e reciclar os nutrientes entre seus compartimentos (POGGIANI; SCHUMACHER, 2000).

Assim, a fertilidade de um solo é determinada em grau mais acentuado pela natureza do seu subsolo, devido ao subsolo estar normalmente sujeito a poucas alterações no seu ambiente, com exceção por drenagem. Essa importância é fundamental na prática, sobretudo florestal, porque mesmo quando as raízes de algumas espécies florestais não penetram com profundidade no subsolo, sua permeabilidade e composição química ainda podem influir sobre o solo de superfície na sua função de meio ambiente para o desenvolvimento do ecossistema (VIEIRA, 1975)

Em um ambiente florestal, uma das vias mais importantes da ciclagem é o aporte de nutrientes ao solo, através da deposição da serapilheira, cujo material encontra-se em processo de decomposição, que libera no solo seus elementos nutricionais e são absorvidos pela vegetação, garantindo parte da reposição e manutenção dos nutrientes e a respectiva produtividade do ecossistema (GOLLEY et al, 1978; KOEHLER; REISSMANN; KOEHLER, 1987). Além desses, o material depositado pela serapilheira exerce funções de isolante térmico, retentor de água e atenuador de efeitos erosivos no solo (GOLLEY et al., 1978)

Os nutrientes N, P, K, Ca e Mg, depositados anualmente pela serapilheira, atingem de 76 a 278 kg/ha/ano em restingas, valores estes encontrados em trabalho de Moraes, Delitti e Struffaldi-de Vuono (1999). Esses valores são menores, quando comparados com 205 e 411 kg/ha/ano, obtidos por Brites et al., (1992) em Floresta Ombrófila Mista submontana e aluvial. Foram também observados por Souza e Davide (2001), valores ainda maiores em floresta estacional, na ordem de 645 kg/ha/ano.

Para o ecossistema florestal natural, a biomassa que se acumula como serapilheira durante um tempo continua em circulação entre a vegetação e o solo através do processo de reciclagem, tendo um ciclo de nutrientes praticamente fechado, cuja contínua decomposição do material orgânico e a pequena perda por lixiviação possibilitam o desenvolvimento de uma floresta luxuriante, sem

sintomas de deficiências nutricionais, mesmo em solos de baixa fertilidade natural (DEMATTÊ, 1988).

Já 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). Portanto, o potencial produtivo das florestas, seja natural ou plantada, é diretamente influenciado pelo solo e pelos fatores do meio (CARPANEZZI et al., 1976)

Drumond et al. (1997) observaram que, em geral, as espécies em condições de floresta natural tendem a apresentar menor eficiência na utilização de nutrientes, quando comparadas àquelas espécies de plantios homogêneos. Além disso, constataram que a demanda nutricional média das espécies avaliadas seguiu uma ordem: $N > Ca > K > Mg > P$ e que existe uma diferença expressiva entre as espécies quando se trata de demanda nutricional. Também, Caldeira (2003), trabalhando com a Floresta Ombrófila Mista, obteve alta eficiência na utilização de macro e micronutrientes na produção da biomassa.

As características que envolvem o perfil do solo e os fatores topográficos também podem explicar a variação da produtividade das diferentes espécies florestais, entretanto tem sido observada maior variação entre as espécies nativas, quando comparadas às plantadas, concernentes aos requerimentos nutricionais (CARPANEZZI et al., 1976).

A maior parte das espécies florestais encontradas na “Mata Atlântica” apresenta média a alta demanda nutricional exigida para o seu estabelecimento e solos de média fertilidade e com boas condições hídricas, além de períodos de secas não muito longos (GONÇALVES, 1995). Assim, quando um ecossistema natural é preservado, também se preserva a sua respectiva ciclagem natural. Já a exploração florestal, realizada sem o devido manejo, tem elevado a capacidade de extração dos elementos nutricionais do solo, gerando impacto às suas reservas minerais e redução da qualidade de sítios florestais (GONÇALVES; BENEDETTI, 2000).

Sabe-se que a *Araucaria angustifolia*, uma das espécies de destaque da Floresta Ombrófila Mista, e o *Pinus elliottii* dependem significativamente da fertilidade do solo, sendo a araucária mais exigente, e por isso, necessita de, aproximadamente, duas vezes mais nutrientes do que o pinus (LA BASTIDE; GOOR, 1970).

Simões e Couto (1973) correlacionaram o crescimento das espécies citadas com o P_2O_5 total, em relação a saturação de alumínio do solo, quando observaram que ambas as espécies reagiram de forma favorável ao fosfato, quando o teor de alumínio (Al^{3+}) foi elevado. Quando o teor de Al^{3+} foi baixo, não houve correlação, devido a influência do alumínio no suprimento e demanda de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}). Constataram, ainda, que ocorreu carência de fósforo na primeira espécie, e em seguida, a de nitrogênio, que são elementos considerados essenciais em suas funções na *Araucaria angustifolia*.

Também foram observadas a intolerância da araucária ao Al^{3+} e para outras espécies arbóreas, como cássia verrugosa, cedro, ipê mirim e angico-do-cerrado que tiveram seu desenvolvimento limitado. Quanto à taxa de absorção nutricional, observou-se que é maior no período em que as árvores estão no estágio juvenil, devido à necessidade maior da planta jovem, em função de sua maior atividade fisiológica (MOLCHANOV, 1971; FURTINI NETO et al., 1999).

- Fontes de nitrogênio (N)

O elemento N é o segundo elemento mais importante depois da água e, em geral, é o que mais limita o crescimento microbiano, sendo essencial nas diversas fases do seu desenvolvimento. A maior parte dos processos de transformação de N no solo é mediada por microrganismos. Os microrganismos do solo mais importantes em relação às transformações de N são os fungos, bactérias e os actinomicetos, que têm menor importância. O N é assimilado, em geral, na forma de amônio (NH_4^+), por ser essa a forma que é incorporada nos compostos orgânicos. No entanto, algumas bactérias e fungos utilizam também o nitrato (NO_3^-). Existem ainda bactérias e actinomicetos que são diazotróficos, ou seja, utilizam diretamente o nitrogênio atmosférico através da fixação biológica do N. Formas orgânicas de N são outras fontes deste que podem ser usadas

pelos microrganismos, capazes de decompor as moléculas orgânicas e liberar o íon amônio que volta a ser incorporado nos compostos orgânicos celulares (VICTORIA; PICCOLO; VARGAS, 1992).

Os fungos por não terem clorofila, retiram o carbono orgânico pré-formado para suas sínteses celulares. Dessa forma, normalmente utilizam amônia ou nitrato como fonte de N, mas também metabolizam proteínas, ácidos nucleicos e outros complexos orgânicos. Nesse sentido, são os fungos que possuem a capacidade de utilizar substâncias protéicas, que mineralizam frações nitrogenadas orgânicas, formando amônio ou outros compostos nitrogenados simples e liberando, ao mesmo tempo, o carbono para a síntese celular (CARDOSO; TSAI; NEVES, 1992).

As bactérias são microrganismos que atuam expressivamente nos processos de transformação do N nos solos. Sua ação se dá na decomposição da matéria orgânica e são as principais responsáveis pelos processos de nitrificação e desnitrificação.

A transformação de N orgânico em nitrato, denomina-se mineralização, que é composto por: amonificação e nitrificação. Nesta seqüência, a fração limitante do processo de mineralização ocorre na fase da amonificação, que é mediada pelos microrganismos quimiorganotróficos. A nitrificação se dá, em geral, de maneira mais rápida e é mediada por microrganismos quimiolitotróficos especializados. A imobilização é o processo no qual o N disponível utiliza o N mineral durante a metabolização microbiana, quando, então, se dá ao mesmo tempo a mineralização. A desnitrificação é um processo de respiração anaeróbia causando perdas gasosas de N (VICTORIA; PICCOLO; VARGAS, 1992).

Quando o amônio se disponibiliza no solo pode tomar diversos rumos, um dos quais é ser oxidado a nitrato por determinadas bactérias quimiolitotróficas, que o utilizam como fonte de energia e, assim, dá início ao processo de nitrificação, que é um processo estritamente biológico. É um processo que pode ocorrer em diversos ambientes e é de destacada importância para a produtividade primária devido a ciclagem de nutrientes (TATE, 2000).

A nitrificação é a oxidação de amônio a nitrato, mediada por microrganismos que podem ser quimiolitotróficos (*Nitrosomonas europaea*,

Nitrosospira briensis, *Nitrosolobus multiformis*, *Nitrosovibrio tenuis*, *Nitrobacter winogradskyi* e *Nitrobacter agilis*), quimiorganotróficos (*bactérias dos gêneros Pseudomonas, Bacillus, Corynebacterium e Achromobacter*) e actinomicetos (*Streptomyces* sp). Os primeiros são os únicos responsáveis pela nitrificação em solos diretamente ligados à nitrificação em ambientes naturais. São bactérias denominadas Nitrobacteriaceae, capazes de retirar a energia que necessitam para o crescimento da oxidação de N amoniacal ou nitroso (TATE, 2000).

O nitrogênio ligado à matéria orgânica, mesmo que não seja diretamente absorvido pelas raízes, é uma forma estável no solo. O N orgânico não é solúvel em água e, assim, não corre o risco de ser lixiviado para as áreas mais profundas do solo, e pode representar 97-98% do N total do solo (CARDOSO; TSAI; NEVES, 1992; TATE, 2000).

A temperatura mais favorável para a nitrificação é de 26 e 32° C, cessando a atividade acima de 50° C. A umidade influi diretamente na nitrificação, que pode ser retardada quando há excesso ou escassez de água. O pH do solo também influi sobre a forma preferencial de liberação dos compostos nitrogenados. Assim, pH acima de 7,0 favorece a liberação de N₂, enquanto que valores inferiores a 6,0 preferem liberar óxidos de nitrogênio (TATE, 2000).

- Fontes de fósforo (P)

Diversos grupos de microrganismos do solo ou da rizosfera são capazes, através de diversos mecanismos, extrair ou solubilizar o P, tanto de fosfatos inorgânicos naturais pouco solúveis, como de compostos com elevada estabilidade química, como é o caso de fosfatos de Al e Fe em solos ácidos e de Ca nos neutros e alcalinos, restringindo a disponibilidade desses nutrientes na solução do solo. A solubilização de fosfatos inorgânicos é realizada por um número maior de bactérias, do que de fungos. Portanto, os microrganismos, de uma forma geral, aumentam a disponibilidade de P, facilitam a absorção e a acessibilidade através de diversos mecanismos, como no caso das bactérias que causam alterações biológicas na rizosfera e fisiológicas nas plantas, sobretudo nas raízes. Os fungos principalmente aqueles que se associam às raízes, formando as micorrizas, podem aumentar a absorção de P pelos mecanismos

físicos, pois, quando há micorrizas, os microrganismos tendem a explorar muito melhor o solo (CARDOSO, TSAI; NEVES, 1992; TATE, 2000; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

A mobilidade do fósforo no solo é muito pequena quando comparada ao nitrato e suas perdas pela movimentação vertical, em áreas agricultáveis, são consideradas insignificantes e, devido a esses fatos, pouca atenção tem sido dada a esta área. Entretanto, a movimentação do fósforo no perfil do solo pode ocorrer quando a entrada é maior que a demanda pelas plantas e, em especial do fósforo na forma orgânica (MOZAFFARI; SIMS, 1994). A presença de palhada e do maior nível de matéria orgânica pode proporcionar um ambiente menos oxidativo, reduzindo as reações de fixação e o contato dos resíduos com o solo, promovendo impacto direto na fertilidade nas camadas superficiais. O aumento de teores de P disponível no solo foram atribuídos a maior quantidade de P aplicado em superfície e à capacidade de adsorção dos colóides diminuir em presença dos ácidos orgânicos liberados pela palha em superfície (CORREA, MAUAD, ROSOLEM, 2004).

O P é um recurso natural finito e sem sucedâneo, absorvido pelos microrganismos através da solução do solo. Os estudos que se referem à sua dinâmica tem sido, em grande parte, relacionado a processos químicos e com pouco destaque aos processos microbiológicos. Entretanto, a atuação direta ou indireta dos microrganismos no ciclo do P e sua influência na capacidade do solo fornecer, bem como a absorção pelas raízes, é muito clara. Seu ciclo tende a converter-se em formas estáveis no solo e sedimentos, e juntamente com o N, representam os elementos nutricionais que mais limitam a produção, pois é um elemento importante para todas as formas de vida (CARDOSO; TSAI; NEVES, 1992; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

O fósforo nos microrganismos faz parte de biomoléculas como os ácidos nucleicos e ATP, e os nucleotídeos e fosfossacarídeos, além de ser imprescindível na transferência de energia, porque se envolve ativamente no metabolismo de gordura. No solo é encontrado na forma: solúvel, ligado à matéria orgânica e formando compostos inorgânicos com baixa solubilidade. A obtenção do P do solo pelos microrganismos é efetuada através da acidificação

do meio em que vivem, ou através da ação de fosfatases que originam o fosfato solúvel para ser assimilado (CARDOSO; TSAI; NEVES, 1992).

Os microrganismos solubilizadores de fosfatos insolúveis ocorrem em todos os solos e varia de acordo com a linhagem do microrganismo, tipo de solo, natureza da serapilheira, ecossistema florestal natural ou plantado, acidez do solo (pH), temperatura, teor de matéria orgânica, tipo de fosfato solubilizado, tipo de fosfato natural, entre outros. Dentre os microrganismos solubilizadores de fosfatos, as bactérias, actinomicetos e fungos têm sido freqüentemente estudados. Para alguns estudiosos, tudo indica que principalmente os microrganismos de metabolismo quimiolitotrófico apresentam-se mais eficientes, enquanto para outros, os fungos têm mais destaque, apesar de menos frequente. Os microrganismos solubilizadores de fosfatos representam até 15% da população da microbiota (CARDOSO; TSAI; NEVES, 1992).

A atividade dos microrganismos é responsável pela mineralização de P orgânico do solo. Diversos microrganismos como bactérias, actinomicetos e fungos são capazes de hidrolisar o P orgânico de inúmeros compostos, por meio da produção de fosfatases, cuja atividade pode ser considerada um indicador da transformação da matéria orgânica, que pode ser detectada através do estabelecimento da relação entre a cinética da fosfatase e a taxa de decomposição (LOPES, 1998). Sempre que há produção de biomassa, o P inorgânico converte-se para compostos orgânicos. É um processo conhecido como assimilação ou imobilização e ocorre de forma muito rápida. Essa imobilização de fosfato pode acontecer quando o ortofosfato disponível no solo está em baixa concentração, inferior ao que o microrganismo necessita, sendo que a quantidade de P imobilizada é diretamente relacionada à biomassa que é produzida (CARDOSO; TSAI; NEVES, 1992; TATE, 2000).

A mineralização do P no solo é realizada pelos microrganismos heterotróficos, que produzem enzimas do tipo fosfatases e fitases que atacam ésteres e fosfato de inositol, liberando PO_4^{2-} para a solução do solo. Este processo sofre a influência expressiva de diversos fatores, principalmente das condições ambientais que interferem na densidade e atividade da microbiota e pelo tipo de mineral existente no solo. Assim, em solos minerais ácidos, a maior

parte do P liberado é rapidamente fixado na fração mineral, enquanto aquelas resultantes das transformações intermediárias, ou da imobilização biológica do P liberado pela mineralização, podem auxiliar a fração lábil de P no solo. Além destes fatores, também a matéria orgânica favorece a decomposição de certas frações das substâncias húmicas nativas, ocorrendo a liberação do P. Esse fenômeno é conhecido como “efeito priming”, que ocorre de igual maneira com o N orgânico do solo (TATE, 2000; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Na maioria dos solos, a maior parte do P ocorre em fração mineral ligada aos óxidos de Fe e Al nos solos ácidos e ao Ca nos solos neutros ou alcalinos. O P orgânico da matéria orgânica do solo varia de 1 a 3%, dependendo do tipo de solo, sendo encontrado principalmente na forma de fosfato inositol, fosfolipídeos e nucleotídeos. O P é vital ao crescimento inicial da vegetação e, quando há amônio (NH_4^+), causam grandes efeitos na disponibilidade e absorção do P, sendo que, em altas concentrações, retardam as reações de fixação do P, porque a absorção de amônio ajuda a manter uma condição ácida na superfície da raiz, melhorando a absorção de P. O efeito sinérgico também faz a absorção do P ser grandemente influenciada pela concentração de Mg^{2+} . As micorrizas, aumentando a superfície absorvente, promovem maior absorção do H_2PO_4^- (LOPES, 1998).

O P existente no solo é encontrado em três compartimentos principais: a) o P fixado, que é inorgânico e pode ocorrer como: P fortemente absorvido; P ligado ao Al; P na rede cristalina; P ligado ao Fe e P ligado ao Ca; b) P disponível, que é o P inorgânico e pode estar como: P fracamente absorvido e P na solução do solo; c) P orgânico, que é o P do ácido nucleico, fosfolipídeos, fosfoinositol, entre outros (BRADY, 1983; MELLO et al., 1983; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Os fatores que afetam a disponibilidade do P são inúmeros. Solos com alto teor de argila fixam mais P do que aqueles com baixo teor de argila; o tipo de argila como caolinita, óxidos e hidróxidos de Fe e Al, comuns em regiões com alta pluviosidade e altas temperaturas e os minerais de argila amorfos (alofana, imogolita) e complexos húmus-Al, comuns em solos formados por cinzas vulcânicas, retêm ou fixam mais o P, do que outros solos; a aeração é reduzida

em solos compactados, conseqüentemente diminui a absorção do P (MELLO, 1983; LOPES, 1998).

A compactação de solos, além de reduzir o O_2 , que é essencial para a decomposição biológica da matéria orgânica do solo e que é uma fonte importante de P, reduz ainda a umidade do solo, que até os níveis ótimos torna o P mais disponível às plantas, mas que, em excesso, exclui o oxigênio, limitando o crescimento e o desenvolvimento das raízes, além de reduzir a absorção do P (LOPES, 1998).

A presença de Ca^{2+} em solos ácidos, o S em solos básicos e o N amoniacal, parecem aumentar a disponibilidade de P. O Zn tende a restringir a absorção do P; os fosfatos de Al, de Fe e de Mn apresentam baixa solubilidade em água, predominando em solos ácidos; a temperatura, cujo calor acelera a decomposição da matéria orgânica, entretanto, quando a temperatura é muito alta ou demasiadamente baixa, podem restringir a absorção de P pelas plantas; as formas de P mais solúveis e disponíveis ocorrem na amplitude de pH 5,5 a 7,0 (BRADY, 1983; MELLO, 1983; LOPES, 1998).

- Potássio (K^+)

O K^+ elementar não é encontrado em estado puro na natureza devido a sua alta reatividade química. É absorvido pelas plantas na forma iônica K^+ trocável e K^+ na solução do solo e, ao contrário de N e do P, o K^+ não forma compostos orgânicos nas plantas. Portanto, o K^+ de utilidade imediata para as plantas é constituído pelo potássio trocável (K^+), sendo esta a forma determinada pela análise de solo, para fins de avaliação da fertilidade. No entanto, nestas condições, o K^+ acha-se adsorvido, ou seja, retido na superfície das partículas do solo, ou micela, que possuem cargas negativas. O K^+ trocável, assim como o solúvel, que é aquele que ocorre na solução do solo, normalmente não representa mais de 1 a 2% do K^+ total. Essa forma é resultante da intemperização dos minerais primários, como micas e feldspatos, ou pela liberação das formas fixas, através da hidratação das argilas ou diminuição do K^+ trocável, havendo um equilíbrio entre as diversas formas do elemento (JORGE, 1983).

Além do K^+ existente nos minerais primários e das formas fixas trocáveis e solúveis, uma pequena fração do elemento pode ocorrer ligada à matéria orgânica, sobretudo se houver acúmulo de grandes quantidades de materiais vegetais que sejam frescos. Esta é uma forma do potássio muito importante à vegetação, porque ele pode ser absorvido pelas plantas facilmente, por ser solúvel em água (JORGE, 1983; LOPES, 1998).

Segundo Brady (1983) ao contrário do P, a maioria dos solos minerais, com exceção de solos arenosos, compõem-se de potássio total em quantidades relativamente elevadas e, em geral, maiores do que de P. No entanto, em geral, é muito pequena a quantidade de K^+ que em qualquer época esteja em condição de fácil permuta. A maior fração do K^+ encontra-se retida nos minerais primários, ou fixada de tal forma que são moderadamente assimiláveis pelos vegetais e pelos microrganismos do solo, os quais competem pelo mesmo nutriente, ou seja, pelo K^+ .

Como a absorção se dá melhor em pH em torno do neutro, em climas temperados, a absorção de K^+ melhora com o aumento do pH. Portanto, temperaturas baixas reduzem a absorção de K^+ , podendo causar deficiência aguda em solos ácidos. A quantidade de K^+ disponível aumenta com a estação seca, quando a sua absorção é menor e a sua ascensão à superfície é mais intensa, e diminui na época das águas, quando ocorre maior absorção e há maior lixiviação. A absorção a $25^{\circ} C$ é três vezes maior que a $15^{\circ} C$. A resistência à seca depende do abastecimento suficiente do K^+ , porque altos níveis de K^+ aceleram o movimento, conseqüentemente a absorção. Também a resistência ao frio e às doenças depende da quantidade existente no solo. O K^+ no solo não se movimenta muito, porém mais do que o P, exceto em solos arenosos e orgânicos (LOPES, 1998; OSAKI, 2005).

O K^+ na planta não é metabolizado e forma complexos prontamente trocáveis, além disso, ele não é um constituinte integral dos metabólitos que pode ser isolado do material vegetal, porque ao contrário, está presente no citosol e nos vacúolos como íon livre (K^+) a altas concentrações. Altas concentrações de K^+ fazem dele o maior agente osmótico catiônico celular (abertura e fechamento dos estômatos e permeabilidades das membranas), junto

com concentrações equivalentes de ânions inorgânicos e orgânicos. O K^+ com boa solubilidade é absorvido pelos tecidos meristemáticos, cuja função na planta é estrutural, além de participar nos processos fisiológicos, como a transpiração, fotossíntese, metabolismo do açúcar, divisão celular, entre outros. Portanto, o K^+ é o mais abundante cátion existente no citoplasma (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

O K^+ atua ainda na síntese de proteínas e na manutenção da estabilidade. As plantas absorvem o K^+ da solução do solo. Considera-se, entretanto, como disponíveis para as plantas, o K^+ trocável e o K^+ na solução do solo. No solo, o K^+ é encontrado nas formas: de rede cristalina, fixado, trocável e solúvel e matéria orgânica, não sendo tão limitante no solo quanto o P. Depois do P, o K^+ é o nutriente mais exigido pelas plantas (BRADY, 1983).

- Cálcio (Ca^{2+})

O cálcio tem duas funções distintas no solo: como nutriente das plantas e como neutralizante da acidez do solo. As perdas desse elemento em regiões tropicais são muito grandes. O teor de Ca^{2+} em solos minerais e orgânicos varia mais do que qualquer outro nutriente. É um catiônio bivalente ($++$), nunca toma forma fixa, como ocorre com o K^+ , ou com o amônio (NH_4^+). Pode acontecer que o Ca^{2+} fique ligeiramente não disponível, quando se liga ao P em pH próximo à neutralidade. O Ca^{2+} é encontrado nos solos da seguinte forma: minerais primários, calcário inativo, calcário ativo, cálcio trocável e solúvel. As perdas de Ca^{2+} em regiões tropicais são bastante significativas, principalmente por lixiviação e erosão (JORGE, 1983).

O cálcio é absorvido da solução do solo na forma divalente (Ca^{2+}), sendo que a maior parte dos solos o possuem em quantidades maiores do que as do K^+ . Segundo Duchafour (1965)³, citado por JORGE (1983) o Ca^{2+} encontra-se no solo nas seguintes formas:

- a) minerais primários - plagioclássio, piroxênio, anfibólio;
- b) calcário inativo - carbonato de cálcio com pouca atividade química e baixa solubilidade em água carregada de gás carbônico, por ocorrer na forma de

³ DUCHAFOUR, P. Précis de pédologie. 2ed. Masson&Cie. Editeurs.

grânulos grandes. Resultante disso, o K^+ possui baixa mobilidade no solo, quando ocorre no calcário inativo;

- c) calcário ativo – é o carbonato de cálcio ($CaCO_3$) fino, de tamanho de silte ou menor. A formação de bicarbonato torna fácil a troca de H^+ do solo pelo Ca^{2+} ;
- d) cálcio trocável e solúvel – estas formas ocorrem de acordo com a quantidade de calcário ativo, sendo ambas muito expressivas para elevar o pH, como também para nutrir a planta.

Como o cálcio (inativo) possui baixa mobilidade no solo e na planta muito pouco, a região de absorção ocorre somente nas extremidades das radículas, que é um local pouco ou quase nada ainda suberizadas (estrias de caspari). A ocorrência de outros cátions como o K^+ , Mg^{2+} e NH_4^+ diminuem a absorção do Ca^{2+} na planta (JORGE, 1983). Na planta tem a função de regular a permeabilidade da membrana citoplasmática, neutralizar ácidos tóxicos e influir na função fisiológica das raízes, germinação do grão de pólen, entre outros (OSAKI, 2005).

Marques et al. (2004) observou a deficiência de Ca^{2+} nas folhas mais novas e com aparência anormal em *Schizolobium amazonicum*, Herb. (paricá). Essas folhas apresentaram-se recurvadas para baixo, com clorose seguida de necrose nas pontas e margens das folhas. Constatou, ainda, que a sua deficiência resultou em um número menor de folhas e teve queda prematura de folíolos e murcha da gema apical. As raízes ficaram menos desenvolvidas e mais espessas com poucas raízes e de coloração escura.

- Magnésio (Mg^{2+})

De acordo com Jorge (1983), o magnésio ocorre no solo na forma de cátion bivalente (Mg^{2+}), sendo seu raio iônico menor do que o do cálcio. A absorção da solução do solo é feita na forma de Mg^{2+} e se encontra no solo em duas formas principais:

- a) pouco solúvel – minerais ferro-magnesianos, silicatos e dolomita;
- b) magnésio trocável – o Mg^{2+} tem o mesmo comportamento que o Ca^{2+} , diferenciando-se apenas por ser encontrado em menores quantidades e por

diminuir a floculação do solo, embora não ocorra de maneira expressiva na prática. O Mg^{2+} é retido com menor energia do que o Ca^{2+} pelas partículas do solo e a necessidade de suprimento para a vegetação é em menor concentração.

- pH do solo

A influência do pH sobre os microrganismos do solo é dependente de sua tolerância aos valores correspondentes a acidez ou alcalinidade dele.

Segundo Dommergues e Mangenot (1970), existem diversas categorias em que podem ser agrupados os microrganismos:

- a) indiferentes ou insensitivos – se desenvolvem numa faixa ampla de valores de pH, como por exemplo, uma infinidade de bactérias que crescem em pH 6,0 a 9,0; fungos 2,0 a 8,0;
- b) neutrófilos – predominam em pH próximo a neutralidade até ligeiramente alcalino. Muitos actinomicetos não conseguem desenvolver-se em pH menores que 5,5. As cianobactérias e diatomáceas preferem ambientes na faixa da neutralidade ou um pouco alcalino, pois sua atividade tende a desaparecer;
- c) acidófilos – preferem ambientes francamente ácidos;
- d) basófilos – não sobrevivem em pH inferiores a 8,0, portanto crescem melhor em condições alcalinas.

O pH da maioria dos solos ocorre entre 4,0 e 8,5. Os solos de regiões mais úmidas são ácidos, em geral, decorrentes da lixiviação de bases, além da decomposição da serapilheira. Processos como fixação biológica de N e chuva ácida podem influenciar na redução do pH do solo. Ao contrário, os solos de regiões mais secas ou semi-áridas são normalmente alcalinos. Entretanto, esses valores não expressam as condições microambientais dos diversos solos. O metabolismo dos microrganismos e outras forças dinâmicas podem fazer o pH do solo variar de duas ou mais unidades em distâncias menores que o diâmetro de uma célula, devido a dupla camada difusa existente. Como as argilas em geral são negativas, elas possuem cátions, atraídos pelas cargas negativas, ocorrendo o mesmo com os colóides orgânicos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Em solos florestais a nitrificação aparece em pH menor que 4,0. Em soluções de cultivo, a nitrificação ocorre em pH maior que 6,0. O microsítio também aparece em pH mais elevado, devido ao fato de que a nitrificação em solos ácidos pode ser realizada pelos nitrificadores heterotróficos, os quais são mais tolerantes à acidez que os autotróficos. A variação do pH do solo provocada pela atividade metabólica microbiana depende do tipo de substrato metabolizado (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Estes autores citam outros fatores que afetam a vida microbiana e que são influenciados pelo pH, tais como a disponibilidade e toxidez de elementos minerais. O ferro, manganês e zinco são menos disponíveis em pH superior a 7,0. O ferro, alumínio e manganês tornam-se tóxicos em pH menores que 5,0 e o fósforo está menos disponível em pH alto ou baixo. É o caso da germinação e crescimento do tubo germinativo de esporos de fungos micorrízicos (*Glomus mosseae* e *Gigaspora margarita*), que são afetados negativamente pela elevação da concentração do alumínio. Os fungos são mais adaptados aos pHs menores que 5,0 e bactérias e actinomicetos aos pHs entre 6,0 e 8,0. Por exemplo, a sarna da batata é causada pelo actinomiceto *Streptomyces scabies*, que pode ser controlada abaixando-se o pH do solo. Entretanto, há microrganismos, como as bactérias autotróficas oxidantes de enxofre e ferro que têm tolerância a pH inferior a 1,0.

Existem, ainda, certos actinomicetos que são ácido-tolerantes e outros como fungos, que sempre aparecem em menor incidência que outros microrganismos em pH entre 6,0 e 8,0, muito provavelmente porque as bactérias e actinomicetos sejam competidores muito mais eficientes, afetando, assim, a vida microbiana dos fungos. Sabe-se ainda, que as células bacterianas são constituídas de aproximadamente 1000 enzimas; grande parte delas depende e está associada aos componentes celulares, como é o caso das membranas, cuja permeabilidade também é muito sensível ao pH (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002)

A acidez do solo causa desnaturação das proteínas, além de inibir as atividades enzimáticas. A adsorção de enzimas extracelulares aos humatos faz mover o pH considerado ótimo para valores mais elevados. Diversos microrganismos já têm seus genes e suas respectivas relações detectadas, os

quais estão relacionados com a estabilidade do pH e são apropriadas para funções vitais das células. Além destes, o desenvolvimento das populações microbianas do solo está relacionado à tolerância, à toxicidade de elementos como o alumínio e o manganês; tolerância à deficiência nutricional como molibdênio e fósforo. O pH está relacionado ainda, às membranas capazes de funcionar na energia e no transporte e relacionado a outros processos de adaptação, como é a extrusão de prótons (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Goodfellow e Cross (1974), trabalhando com dois solos de floresta de pinus, observaram em uma densidade a ocorrência de estreptomicetos, bactérias e fungos e constataram, que no primeiro solo, os Streptomicetos na serapilheira foram encontrados em pH 3,6 (ácido) no valor de 80 UFC g⁻¹ de solo seco e, em meio neutro 0,6 UFC g⁻¹ de solo seco; a densidade das bactérias foi de 1083 x 10⁴ UFC g⁻¹ de solo seco e de 225 x 10⁴ UFC g⁻¹ de solo seco de fungos. No segundo solo, o pH da serapilheira foi de 3,9 e foram encontrados em meio ácido 1,3 x 10⁴ UFC g⁻¹ de solo seco e em meio neutro 2,1 x 10⁴ UFC g⁻¹ de solo seco de estreptomicetos e nenhuma bactéria e fungo nesta camada. Ainda no primeiro solo e no horizonte A₁, onde o pH foi de 4,2, foram observados em meio ácido 0,6 x 10⁴ UFC g⁻¹ de solo seco e em meio neutro 8,0 x 10⁴ UFC g⁻¹ de solo seco de estreptomicetos, de bactérias 1810 x 10⁴ UFC g⁻¹ de solo seco e de fungos 29,8 x 10⁴ UFC g⁻¹ de solo seco. No segundo solo, a camada A₁ e em pH 3,7, foram encontrados 1,9 x 10⁴ UFC g⁻¹ de solo seco de Streptomicetos em meio ácido e 0,1 x 10⁴ UFC g⁻¹ de solo seco em meio neutro, não sendo detectados bactéria e fungo nesta camada. Na camada C e em pH 7,8 foram detectados 37,5 UFC g⁻¹ de solo de estreptomicetos apenas em meio neutro, 3080 x 10⁴ UFC g⁻¹ de solo seco de bactérias e 1,3 x 10⁴ UFC g⁻¹ de solo seco de fungos. O solo dois não possuía horizonte C, mas horizonte A₂, B₁ e B₂. Assim, para o horizonte A₂ com pH 4,0 foram encontrados 2,1 x 10⁴ UFC g⁻¹ de solo seco de estreptomicetos em meio ácido e em meio neutro 0,5, nenhuma bactéria e 3,0 x 10⁴ UFC g⁻¹ de solo seco fungos. O horizonte B₁ e em pH 3,6 foi detectado em meio ácido 2,5 x 10⁴ UFC g⁻¹ de solo seco e em meio neutro 0,1 x 10⁴ UFC g⁻¹ de solo seco de *Streptomicetos*, nenhuma bactéria e 4,5 x 10⁴ UFC g⁻¹ de solo seco de fungos. No horizonte B₂ e em pH 4,4 verificou-se em meio

ácido $2,5 \times 10^4$ UFC g^{-1} de solo seco e em meio neutro $0,05 \times 10^4$ UFC g^{-1} de solo seco de estreptomicetos, nenhuma bactéria e $0,7 \times 10^4$ UFC g^{-1} de solo seco de fungos.

Nesta pesquisa em solos de povoamento com pinus, de Goodfellow e Cross (1974) demonstraram a existência da grande variabilidade que pode ocorrer com a densidade populacional de microrganismos nos diferentes horizontes de diferentes solos, com pH variável.

2.4 HORIZONTES ORGÂNICOS

Nos ecossistemas florestais, seja de Floresta Ombrófila Mista ou povoamento com *P. taeda*, a forma da matéria orgânica (serapilheira) incorporar, é de cima para baixo, acumulando-se pois, na superfície do solo, e constituindo dessa forma, os horizontes orgânicos, cuja função é o equilíbrio entre entradas e saídas do sistema. Refere-se à entrada, os materiais que entram através da deposição da serapilheira e à saída, transformação através da decomposição, que ocorre quase simultaneamente (PEÑA, 2002; SANTOS; CAMARGO, 1999).

Essas camadas ou horizontes dependem da velocidade de decomposição do ecossistema ser da Floresta Ombrófila Mista ou povoamento florestal com *P. taeda*. Assim, quanto mais se deposita a serapilheira e quanto menor sua velocidade de decomposição, mais espessa ela será (SANTOS; CAMARGO, 1999).

O processo de decomposição, ao longo do tempo, forma um gradiente, em que as folhas recém-caídas se caracterizam por apresentar pouca transformação. Já as mais antigas apresentam um alto grau de transformação, que é estrutural e química.

A maior parte dos microrganismos possui habitat na camada da serapilheira, seja na floresta natural ou plantada, resultante de grande biomassa proveniente de fontes vegetais constituída por folhas, acículas, ramos, órgãos reprodutivos, cascas, insetos e animais, seus restos e seus excrementos e outros fragmentos que servem de alimento. Segundo Mason (1980), serapilheira são todos os tipos de material biogênico em vários estádios de decomposição,

os quais representam uma fonte potencial de energia para as espécies consumidoras ou biotas. É um processo complexo e de grande importância como agente assegurador da produção contínua de um sítio.

A serapilheira de um solo florestal está sujeita a inúmeros fatores, dos quais resulta a decomposição e a conseqüente mineralização do material orgânico. A entrada de material pela deposição da serapilheira e a saída, ou transformação pela decomposição, em geral se dá quase simultaneamente quando se trata de floresta natural, não ocorrendo da mesma forma com a serapilheira de *P. taeda*, que se processa lentamente, devido à composição das acículas (BURGUES; RAW, 1971). As folhas e as acículas de pinus constituem a fração mais significativa do material biogênico florestal e anual produzido (PROCTOR, 1983).

Ovington (1958)⁴ citado por Osaki (1988), estudando as coníferas, observou que suas acículas possuem alto teor de carbono e baixo de nitrogênio, cuja relação C/N é alta, o que promove o acúmulo de matéria orgânica na superfície. Valores mais elevados para o pinus foram encontrados também por Barth (1980), na superfície, evidenciando que o acúmulo tenha sido provavelmente devido à contínua queda de acículas. Portanto, é possível verificar que o tipo de material influencia na diversificação da decomposição e dos decompositores e, conseqüentemente, na ecologia microbiana do solo (BURGUES, RAW 1971; McLEAD; SHERROD; PORCH, 1979; BAATH; ARNEBRANT, 1994). Estudando o efeito da matéria orgânica e a reciclagem de nutrientes em florestas tropicais de *Pinus palustris*, esses autores observaram que houve uma diminuição no crescimento das árvores, quando se removia a serapilheira, concluindo que, isto se deve à falta de nutrientes e o rompimento do ciclo hidrológico, que não se mantém quando não há material, ou seja, matéria orgânica.

A intensidade de decomposição da serapilheira é muito variável, resultante de um complexo conjunto de fatores que funciona como filtro e esponja de água de origem atmosférica e que penetra no material biológico e posteriormente no solo. A absorção ou escorrimento da água depende da

⁴ OVINGTON, J. D. Studies of the development of woodland conditions under different trees. J. Eccl. n. 46, p.127-142. 1958

serapilheira ou manta vegetal superficial, ou ainda, do seu “*status*”, se recém depositada ou já decomposta. Também a temperatura tem efeito expressivo na taxa de decomposição, ocorrendo, muitas vezes, uma diminuição na velocidade ao longo de um gradiente de temperaturas decrescentes (DELITTI, 1995).

Em geral, a decomposição ocorre rapidamente em regiões tropicais e subtropicais com excesso de umidade (ANDRAE, 1978). As florestas, tanto tropicais como subtropicais decíduais, perdem suas folhas no início da estação seca, ou seja, inverno e início da primavera, quando reduz a atividade de decomposição, resultando no desenvolvimento de horizontes orgânicos (SWIFT et al., 1979). Esta mesma característica de temperatura ocorre na floresta classificada como Ombrófila Mista, em que a maior produção de serapilheira, em geral, se dá nestas estações do ano, quando há maior precipitação, isto é, nos meses de verão e primavera. Tudo indica que é uma estratégia para renovar as folhas, resultante da grande quantidade de água e radiação existente nestes períodos (TOLEDO; PEREIRA; MENEZES, 2002).

A taxa de decomposição da matéria orgânica é menor em florestas de montanha, em função da vida das folhas está em torno de 12 a 14 meses para florestas de altitudes inferiores, 14 a 16 meses para florestas montanas e 14 a 18 meses para florestas altomontanas (GRUB, 1977). Isto ocorre devido ao conteúdo de água do solo, temperaturas mais baixas em pisos altitudinais mais altos e características morfológicas das folhas (TANNER, 1981).

A composição do material orgânico, a concentração e a proporção entre os compostos que constituem a serapilheira, tanto da Floresta Ombrófila Mista, quanto do povoamento com *P. taeda*, além da maior ou menor intensidade da atividade microbiana, dependem do tipo de vegetação, do clima, localização, topografia, solo, idade do povoamento e variação sazonal e anual da produção de serapilheira pelos elementos arbóreos, assim como o sistema de manejo empregado (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

A atividade microbiológica é maior na serapilheira fresca, decrescendo posteriormente em processos mais avançados do material. Em geral, as folhas de espécies perenifólias são mais resistentes à decomposição do que as das espécies caducifólias, bem como a serapilheira de angiospermas que se

decompõem mais rapidamente do que a de gimnospermas. Os carboidratos são decompostos rapidamente, enquanto que os polifenóis são menos palatáveis aos organismos, sendo, pois, lentamente decompostos (HAAG, et al., 1985; SANTOS, 1989).

O mecanismo de decomposição varia segundo as espécies que compõem a floresta, condições microambientais, microclimáticas e as características da comunidade detritívora, como bactérias, fungos, actinomicetos, solubilizadores de fosfatos e celulolíticos. Também a taxa de decomposição pode variar dependendo do período sazonal, da natureza química e física do solo (granulométrica, compactação) e da composição do material biogênico que é decomposto (SANTOS, 1989). O processo de decomposição segue a ordem decrescente de importância: macroclima, microclima, natureza do material e população decompositora (ANDERSON; SWIFT, 1983).

A serapilheira que se decompõe vai se tornando escura à medida que há calor e umidade, e as substâncias solúveis em água, sobretudo os polifenóis, açúcares e ácidos orgânicos se lixiviam (MOLCHANOV, 1971).

As espécies vegetais das fases iniciais de sucessão e que possuem alto conteúdo de N e baixa relação C/N, apresentam baixos teores de lignina e de compostos fenólicos, do que aquelas de fases de sucessão mais avançadas, facilitando a atividade microbiana no trabalho da decomposição (GALVÃO; ZILLER; BUFREM, 1992).

A taxa com que a serapilheira é transformada é importante para a sobrevivência e produtividade florestal. Sem uma comunidade microbiana decompositora ativa, o estoque de nutrientes no solo é rapidamente exaurido. Sobre a serapilheira atuam ao mesmo tempo diversas espécies de microrganismos, os quais utilizam a energia do material e liberam os nutrientes, sendo essenciais para manter a estrutura, o funcionamento e a completa assimilação de nutrientes pelas plantas e outros organismos do ecossistema (ANDRAE, 1978; ARCHIBOLD, 1995).

Apesar do grande volume de serapilheira nos ecossistemas naturais, a baixa fertilidade dos solos é consequência da rápida decomposição do material biogênico que em média é de 2,0 – 2,5 cm de espessura. Isso ocorre devido os

diversos mecanismos que, para conservar os nutrientes dentro do ecossistema, minimizam as perdas por lixiviação (VITOUSEK, 1986).

A quantidade e a composição química da serapilheira de floresta de *P. taeda* (acículas), além das condições edafoclimáticas, dependem da idade da floresta, densidade e variação sazonal e anual da produção de serapilheira pelos elementos arbóreos, assim como o manejo empregado e a metodologia de avaliação usada. Em solos sob povoamentos de espécies do gênero pinus ocorre a formação de uma espessa camada de material orgânico, o qual é formado, em sua maior parte, de acículas (70%) e o restante por estruturas reprodutivas, ramos, cascas e pedaços do caule, os quais podem apresentar uma lenta decomposição, porém com uma significativa carga de nutrientes, sendo devolvidos através deste material ao solo. Outra função da camada de serapilheira composta de acículas, que se acumula sob o povoamento de pinus, é o de funcionar como uma esponja sobre o solo, com capacidade de reter a água da chuva, reduzir a evaporação e as variações bruscas de temperatura do solo, portanto de isolante térmico. Além disso, reduz a erosão, melhorando a estrutura do solo e promovendo a ciclagem dos nutrientes através dos microrganismos (FERREIRA, et al., 2004).

A deposição da serapilheira muda de acordo com o gradiente altitudinal e profundidade das camadas (horizontes). A biodegradação dos materiais lignocelulosicos é importante no processo de ciclagem de carbono devido à abundância desses materiais na maioria dos ecossistemas terrestres. Basicamente, são compostos de 50% de celulose, 25% de hemicelulose e 25% de lignina, aproximadamente (SARKANEN; LUDWIG, 1971). Ainda, Tauk (1990) cita esses como os componentes mais importantes das folhas, que formam uma intrincada rede de fibras, constituindo de 50 a 80% da matéria seca. Parece que os gastos na construção de biomassa de plantas de altas altitudes podem ser maiores que em menores altitudes, resultante do alto conteúdo de lipídios e lignina. Tudo indica que a menor produção de biomassa acima do solo nas florestas nebulares, tem relação com o menor ganho de carbono (C) fotossintético e os altos custos de manutenção e construção (BRUINJZEEL; VENEKLAAS, 1998).

Quanto a espessura das camadas de serapilheira de *P. taeda*, essa é bem maior quando comparada ao da Floresta Ombrófila Mista (1,0-2,0 cm), possuindo uma média de 10,0-15,5 cm de espessura (GOLFARI, 1963; MIROV, 1967). De acordo com Chaves e Correa (2005), a maior resistência das acículas à decomposição sugere que não há um aumento real da matéria orgânica no solo e, que a atividade efetiva da população microbiana ocorre na matéria orgânica depositada anteriormente ao plantio.

Archibold (1995), avaliando a biomassa e os nutrientes de uma serapilheira florestal natural, constatou que menos de 5% da biomassa pode conter cerca de 14% do estoque de nutrientes, e é nesse ambiente que a população da biota e microbiota se desenvolvem melhor, favorecida pela existência de matéria orgânica armazenada. Em geral, a decomposição dos materiais se processa rapidamente em microsítios com florestas tropicais e subtropicais, que tenham bastante umidade no solo (OLSON, 1963; SANTOS, 1989). Todavia, quando essas florestas são decíduas, muitas espécies perdem suas folhas no início da estação seca, quando a atividade decompositora é reduzida, desenvolvendo os horizontes orgânicos (SWIFT et al., 1979). Portanto, a atividade decompositora é maior na serapilheira fresca, seguida da camada de transição, resultante da facilidade de serem encontradas substâncias degradáveis (carboidratos) e essas serem consumidas rapidamente (MINDERMAN, 1968; UNESCO, 1978).

O acúmulo desse composto na fase de crescimento, faz precipitar as proteínas nas folhas, podendo ainda interferir no funcionamento de enzimas digestivas (MASON, 1980). Dessa forma, a perda inicial da biomassa está grandemente relacionada com os componentes iniciais do material (ODUM, 1970). Durante o processo de decomposição, alterações nos teores de carbono e nutrientes, resultantes da intensa atividade microbiológica causam contínuas variações nas relações carbono/nutrientes (REBELLO, 1994).

Na Costa Rica alguns estudiosos constataram que as folhas demoraram 24 semanas para se decompor, enquanto que outros componentes da serapilheira, que tinham menos de 3 cm de diâmetro, demoraram 31 semanas.

No mesmo estudo, em árvores mortas com mais de 22 cm de DAP, levou cerca de 13 anos para se decompor (GOLLEY et al., 1978).

Essas camadas de serapilheira ficam sobrepostas em diferentes graus de decomposição e denominadas horizontes: horizonte L (lixiviação), que se compõe de folhas recém-caídas, inteiras e não pisoteadas ou usufruídas pela fauna do solo; o horizonte F (fermentação), que possui atividade biológica intensa, devido à fragmentação causada pela fauna do solo e a degradação bioquímica feita pelos microrganismos e onde existe grande quantidade de raízes finas que absorvem os elementos nutricionais liberados da matéria orgânica; e o horizonte H (humificação), que apresenta material amorfo e escuro, decorrente da atividade no horizonte anterior (F) (MASON, 1980; SANTOS; CAMARGO, 1999).

Cada ecossistema florestal possui estratégias específicas para a decomposição da serapilheira, para posterior formação do solo. Só assim dará continuidade à sua sobrevivência dentro das condições nutricionais existentes em cada substrato e, dessa maneira, formar diferentes horizontes. Isto significa que apresentarão diferentes características de solos (diferenças no comportamento do solo, principalmente no aspecto hídrico: erosão) e diferentes espécies de solos (capacidade de permuta dos nutrientes, movimento e capacidade de armazenamento de água). É o caso da absorção de elementos nutricionais pelas plantas diretamente das diferentes camadas, de acordo com as reações e o comportamento biogeoquímico da planta e das microbiotas, assim como do grau de decomposição dos materiais, que são elaborados através das atividades e interações entre solo/raíz e microrganismos como bactérias, actinomicetos, fungos, entre outros (SANTOS; CAMARGO, 1999).

2.5 BIOMASSA MICROBIANA

O grande desafio da ciência do solo na atualidade é demonstrar a relação entre níveis de atividade biológica e o funcionamento sustentável do ecossistema, seja natural ou plantado. Nesse contexto, a medida mais prática do “estatus biológico do solo” é a biomassa microbiana. Por isso, a biomassa e a atividade microbiana tem feito parte dos estudos de decomposição de materiais

vegetais, faunísticos e microbiológicos, mineralização e ciclagem da matéria orgânica e, conseqüentemente, da contribuição à fertilidade do solo (GAMA-RODRIGUES; DE POLLI, 2005).

Sabe-se que, dentre os elementos nutricionais essenciais aos microrganismos destacam-se o carbono (C), na forma de aminoácidos, ácidos graxos e açúcares, e o nitrogênio como a amônia e os nitratos, que são absorvidos pelos microrganismos decompositores, e o nitrogênio molecular atmosférico pelos fixadores deste nutriente (PICCOLO, 1996). O carbono constitui o primeiro estágio dos materiais em decomposição no solo, representando 1 a 4 % ou mais do carbono total do solo, e que pode atingir toneladas por hectare (SIQUEIRA; FRANCO, 1988).

A biomassa microbiana é responsável pela quase totalidade da atividade microbiana, acelerando as transformações bioquímicas, representando, ainda, fonte e dreno de carbono e troca catiônica de nutrientes entre a atmosfera e o ecossistema solo/planta (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Isto significa que o conjunto de microrganismos do solo funciona como catalisador, fonte ou reservatório de nutriente e energia (DE-POLLI, GAMA RODRIGUES; GUERRA, 2005). Pode-se dizer, também, que ela constitui a maior parte da fração ativa da matéria orgânica, mas, em relação à proporcionalidade, é considerada a menor fração do carbono orgânico do solo (GAMA-RODRIGUES; DE POLLI, 2005). Além de ser o compartimento central do ciclo do carbono, que expressa um considerável reservatório de elementos nutricionais nos solos, a biomassa constitui uma porção pequena do carbono total do solo (SCHNÜRER; CLARHOLM; ROSSWALT, 1985; SPARLING, 1997).

A biomassa microbiana é a parte viva da matéria orgânica do solo, é constituída de seres menores que $5 \times 10^{-3}\mu$ e que atuam como agente de transformação no ciclo nutricional e no fluxo energético. É um material que contém em média 2 a 5% do C orgânico do solo e de 1 a 5% do nitrogênio total do solo (JENKINSON; LADD, 1988; SMITH; PAUL, 1990; WARDLE, 1992; DE POLLI; GUERRA, 1999). Como a matéria orgânica do solo é constituída de uma mistura de materiais complexos, como tecidos vivos e mortos e de substâncias orgânicas e inorgânicas em constante transformação, podem ser separados em

frações distintas: 98% do C orgânico do solo que ocorre como matéria orgânica morta, particularmente na forma de húmus; a fração viva, entre 1 a 5% do total de materiais orgânicos, dessas 5 a 10% são raízes, 60 a 80% são microrganismos e 15 a 30% são provenientes da macrofauna. Portanto, o maior componente da matéria orgânica viva do solo é o protoplasma microbiano, que representa a biomassa microbiana. Nesse sentido, e de acordo com as condições edafoclimáticas e da qualidade da serapilheira, a biomassa microbiana pode exercer função também catalisadora e de fonte, ou de reserva de elementos nutricionais (PAUL; CLARK, 1989; WARDLE, 1992).

A quantificação da biomassa e da atividade microbiana, quando avaliada em conjunto com os valores de pH, teor de carbono orgânico, nitrogênio total, umidade e argila do solo, possibilita uma avaliação sistêmica dos diferentes ecossistemas, ou do manejo adotado e, provavelmente, na obtenção de melhores índices de aferição da sustentabilidade (GAMA-RODRIGUES; DE POLLI, 2005). Dessa forma, mesmo sendo uma característica muito dinâmica e, de certa forma pouco informativa, a biomassa microbiana quando interpolada por si só, sua quantificação pode estimar o potencial microbiológico da serapilheira ou do solo e sua capacidade de transformação; pode quantificar substâncias relacionadas às quantidades de nutrientes essenciais aos microrganismos; possibilita relacionar estas quantidades de microrganismos com formas inorgânicas de importância agrônômica e ecológica do solo, respondendo, ainda, de forma intensa às variáveis das estações do ano em relação à umidade e temperatura (GRISI, 1986).

A precipitação pluviométrica, a temperatura e o teor de argila são variáveis fundamentais na formação da matéria orgânica do solo, entre outros fatores que controlam a dinâmica do carbono orgânico. A argila aumenta a adsorção de compostos orgânicos e elementos nutricionais, além de proporcionar maior capacidade tampão de acidez e proteger os microrganismos contra os predadores. A biomassa microbiana em solos com alto teor de argila imobiliza mais carbono e nitrogênio (SMITH; PAUL, 1990; GAMA-RODRIGUES; DE POLLI, 2005). Como o C pode ocorrer no solo na forma lábil e na forma resistente ou recalcitrante ao ataque de microrganismos, a biomassa microbiana

do solo utiliza o carbono orgânico lábil. Entretanto, os elementos nutricionais imobilizados nessa biomassa ocorrem em forma mais lábil que aqueles existentes na matéria orgânica total (ALVAREZ et al., 1995).

Nesse contexto, a biomassa microbiana pode ser utilizada como indicador biológico dos níveis da matéria orgânica do solo, ou como índice de qualidade do solo em diversos ecossistemas, principalmente para florestas que requerem produtividade econômica, como as plantadas.

Mesmo sendo difícil relacionar esses fatores com a produtividade das plantas, eles podem atuar como indicadores da atividade biológica do solo, tornando mensurável a biomassa microbiana (NAHAS, 1999; GAMA-RODRIGUES; DE POLLI, 2005). São medidas muito úteis na dinâmica de um reservatório lábil da matéria orgânica do solo, o que pode oferecer resultados muito importantes no funcionamento do ecossistema florestal e na qualidade do solo e da serapilheira, refletindo na sua produtividade. São ainda úteis, porque permitem a quantificação viva existente no solo em um dado tempo. Permite ainda, associar a quantidade de elementos nutricionais imobilizados e a atividade da biomassa microbiana, com a fertilidade e o potencial de produtividade do solo e da serapilheira, sendo base para estudos de formação e ciclagem da matéria orgânica e de nutrientes (PAUL; CLARK, 1989).

A avaliação da biomassa microbiana é também muito importante para obter informações rápidas sobre mudanças nas propriedades orgânicas do solo; detectar mudanças ocorridas em consequência de cultivos ou resultantes de devastações florestais e avaliar os efeitos dos poluentes como metais pesados e insumos agrícolas (FRIGHETTO, 2000).

O conhecimento sobre a biomassa microbiana torna-se mais significativo quando se combina com outros componentes do solo, como são os estudos relativos a interação trófica, funcionamento dos ecossistemas, atividade no solo e produtividade primária, ou quando juntamente com avaliações que se referem a estresses e alterações ecológicas (FRIGHETTO, 2000).

Segundo as condições edafoclimáticas e qualitativas da serapilheira, a biomassa microbiana pode ter também função catalisadora, de fonte ou reserva de nutrientes (WARDLE, 1992). Quando ela exerce a função de reserva, a

quantidade de elementos nutricionais por via ciclagem microbiana é menor do que aquela que entra no sistema, e quando a sua função é de fonte, a quantidade liberada é maior do que aquela que entra.

Todavia, mais significativo que o valor absoluto da biomassa microbiana é o estudo das relações entre a biomassa e a atividade dos microrganismos e atributos químicos para se conhecer melhor a funcionalidade do sistema serapilheira-microrganismo-solo (GAMA-RODRIGUES; MONTEIRO, 2004). Assim, de forma resumida, pode-se destacar a importância do estudo da biomassa microbiana a determinados aspectos fundamentais: a) é formada por células vegetativas vivas, capazes de favorecerem mudanças importantes no solo; b) resultante da grande quantidade de material que pode aportar como resíduo e como elemento nutricional; c) ser o maior componente lábil da matéria orgânica do solo e, com isso, tornar-se reservatório de nutrientes; d) possibilita considerá-la como um indicador de muita sensibilidade na avaliação das mudanças que ocorrem no solo; e) determina a quantidade de biomassa microbiana na forma de carbono, possibilitando fazer um acompanhamento rápido quanto às perturbações sofridas pelo equilíbrio microbiano e às flutuações no total de matéria orgânica, material esse, proveniente do próprio ecossistema e seu uso referente ao solo, devido às reações que ocorrem com maior velocidade do que os parâmetros físicos e químicos (POWLSON; BROOKS; CRISTENSEN, 1987; SIQUEIRA; MOREIRA, 2002).

2.5.1 Estimação da Biomassa Microbiana

Em geral, a biomassa microbiana é expressa como mg de C/g de solo seco, sendo avaliada por diversos métodos, incluindo a microscopia (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

A estimativa da biomassa microbiana do solo é um método que veio para favorecer as dificuldades e as limitações das contagens microbianas em placas com meios seletivos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Todavia, a biomassa microbiana não é uma estimativa da atividade microbiana, mas estimativa da massa microbiana viva total do solo, baseado na concentração de algum elemento ou substância celular ou diretamente por mensurações microscópicas

(DE POLLI; GUERRA, 1999). Tudo indica que a biomassa microbiana é mais sensível às mudanças iniciais no conteúdo de matéria orgânica do solo do que a determinação do carbono orgânico total (JENKINSON; RAYNER, 1977; POWLSON BROOKS; CRISTENSEN, 1987), e a relação $C_{\text{microorganismo}} \times C^{-1}_{\text{orgânico}}$ é um índice útil para descrever alterações em ecossistemas com interferência antrópica (INSAM; DOMSCH, 1988).

Os trabalhos envolvendo a determinação da biomassa microbiana do solo apresentam controvérsias na escolha de métodos mais apropriados, podendo-se deduzir que nenhum método tem aplicabilidade universal e que métodos diferentes podem ser adequados para diferentes circunstâncias e para responder diferentes questões (WARDLE, 1994).

Para quantificar a biomassa microbiana pode-se utilizar diversos métodos que levam em consideração: estimativas indiretas da contagem do número de organismos e a conversão para biovolume; determinação de constituintes microbianos específicos, como é o caso das macromoléculas e a ATP; taxa de respiração em resposta à adição de C; fluxo de CO_2 em amostras submetidas à fumigação e passaram novamente pela infestação e quantidade de C extraído de amostras que foram fumigadas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

a) Microscopia direta e técnicas de observação:

A microscopia é o método precursor mais antigo na avaliação da biomassa microbiana e, apesar de ter sido substituído por outros métodos, ainda é utilizado por fornecer informações úteis relativas à natureza e composição da biomassa microbiana do solo. É um método que estima a biomassa a partir do biovolume dos organismos, suspendendo-se as células em soluções salinas e com observação direta em microscopia; fornece informações sobre a natureza e a composição da biomassa do solo e distribuição das bactérias ou fungos à biomassa total por tamanho e classe (JENKINSON; POWLSON, 1976; WEDDERBRUM 1999, WARDLE, 1994; DE-POLLI; GUERRA, 1995). No entanto, têm desvantagens como: tempo maior de análises quando comparado a outros métodos e a necessidade de profissionais altamente tecnicados, principalmente na separação visual dos componentes microbianos de outros

materiais (partículas de resíduos orgânicos); requer o uso de vários fatores de conversão, que ocorrem sempre associados a um erro (WARDLE; PARKINSON, 1991; MARTENS, 1995). Embora o método tenha desvantagens, para solos onde não é possível a utilização de outra técnica e onde se dispõe de equipamentos e técnicos qualificados, a sua aplicação pode ser viabilizada (GRISI, 1988).

No uso do método da microscopia direta a biomassa de bactérias e fungos, deve ser analisada separadamente (WARDLE, 1994).

b) Determinação de constituintes microbianos específicos.

Existem diversos constituintes utilizados na estimação da biomassa microbiana do solo. Dentre esses destacam-se o ácido murâmico, uma hexamina que compõe a parede celular das bactérias e algas verdes-azuis (MILLAR; CASSIDA, 1970); o ácido diaminopimérico, constituinte da parede celular bacteriana (STEUBING, 1973); a quitina que integra a parede celular dos fungos (FOSTER; WEBER, 1960; SWIFT, 1973), os ácidos nucléicos (JENKINSON; LADD, 1988) e a adenosina 5'-trifosfato (ATP), uma adenina nucleotídeo que se encontra em todos os organismos vivos (HOLM-HANSEN, 1972).

Apesar do ATP ser o constituinte mais usado na determinação da biomassa do solo, a sua utilização para esse fim necessita da extração de todo o ATP da biomassa, inativação completa e irreversível do sistema enzimático das células, adsorção aos colóides do solo pelo ATP, além de evitar a hidrólise do ATP. Sugere-se que o ácido tricloro acético, junto com o paraquat evite essa hidrólise, satisfazendo as necessidades de análise (JENKINSON; OADES, 1979; GRISI, 1984).

A quantidade do ATP é medida submetendo-se o solo na presença da luciferina-luciferase extraída dos vagalumes, com a emissão da luz medida por fotometria ou espectrofotometria (DIONÍSIO, 1996).

Diversos pesquisadores obtiveram boas correlações entre a biomassa estimada pela técnica do ATP e pela fumigação-incubação (JENKINSON; DAVIDSON; POWLSON, 1979; ROSS et al., 1980; GRISI; GRAY, 1986).

A desvantagem deste método é a extração incompleta do ATP das células, decomposição ou hidrólise química do ATP durante o processo de extração e a adsorção do ATP pelo solo. Entretanto, é recomendado para a obtenção de informações relacionadas à atividade microbiana (SPARLING; EILAND, 1983; GRISI; GRAY, 1986).

c) Respiração induzida pelo substrato

Este método não permite a determinação direta da biomassa, apesar de ser rápido na avaliação. Considera o aumento inicial da taxa de respiração (até um máximo), causado pela adição da glicose, além de considerar a avaliação da respiração antes que o crescimento microbiano ocorra. A glicose é o carboidrato mais utilizado neste método, por ser um açúcar metabolizado pela maioria da população microbiana do solo, e também por ser solúvel em água, ter estrutura mais ou menos complexa, evitando sua mineralização pelas enzimas livres e por não ser tóxico nas quantidades empregadas (ANDERSON; DOMSCH, 1978).

A vantagem desse método é a simplicidade, principalmente no tempo que leva a análise, cujo trabalho fica concluído após seis horas de incubação e também porque permite, mesmo estimando parcialmente a biomassa microbiana, utilizar técnicas de inibição seletiva e o sulfato de estreptomicina para bactérias e ciclohexamina para fungos (ANDERSON; DOMSCH, 1978).

Assim, os trabalhos que vinham sendo realizados até a década de 1970 e que seguiam o método da fumigação de solos com vapores de clorofórmio (CHCl_3) foram gradativamente substituídos pelo método de fumigação-incubação (JENKINSON; POWLSON, 1967). A partir dessa época, surgiram muitos estudos, atuando como um marco nos trabalhos de pesquisa, surgindo o método de fumigação-extração, cuja diferença para o método da fumigação-incubação é que o material celular liberado pelo rompimento da parede celular após a fumigação é recuperado por meio um extrator fraco como o K_2SO_4 em uma relação solo: extrator de 1:4, logo depois da fumigação (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987). Com isso, são eliminados 10 dias de incubação que o método de fumigação-incubação necessita.

Amostragem

Em todos os trabalhos de pesquisa têm sido reportada a definição da amostragem com o objetivo de obter informações confiáveis em áreas amostrais compatíveis com a variabilidade da população. Na sua forma mais simples pode-se inferir que os ecossistemas florestais em geral são extensos, de difícil acesso e, com frequência, necessitam ser inventariados. São inventários realizados segundo procedimentos estatísticos de amostragem (HOSOKAWA 1988; PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997; BONETES, 2003).

A parte fundamental de qualquer amostragem é a existência de uma população, que consiste num conjunto de unidades, da qual se escolhe uma amostra. Assim, o conjunto de observações colhidas da fonte, com vistas à obtenção de informações sobre ela, denomina-se amostra, e a fonte dessas observações, chama-se população (HOEL, 1977). Portanto, uma ou mais unidades de amostragem selecionadas de uma população, de conformidade com qualquer procedimento especificado constituirá numa amostra e, população o conjunto de indivíduos, da mesma natureza, que ocupam um determinado espaço em um determinado tempo (FREESE, 1962; PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

A seleção de amostras em populações homogêneas mostra-se relativamente simples, não exigindo maiores cuidados. Por outro lado, populações heterogêneas, como o caso de áreas florestais, o processo de amostragem apresenta relevante importância (PÉLLICO; BRENA, 1997). Uma amostra é considerada representativa de uma população quando é constituída de indivíduos selecionados segundo as técnicas estatísticas apropriadas à situação e à população que se deseja estudar (VIEIRA, 1999). De acordo com Péllico Netto e Brena (1997) devem ser observadas duas condições: em primeiro, a seleção deve ser inconsciente, ou seja, livre de influências subjetivas, preferências ou desejo. A seleção de áreas, parcelas, talhões representativos de uma floresta apresenta uma série de dificuldades de se cumprir esta condição. Em segundo, os indivíduos inconvenientes não podem ser substituídos; no estudo das florestas esta condição é frequentemente violada, como na distribuição de blocos apenas em áreas acessíveis (PÉLLICO NETTO; BRENA,

1997). Sendo assim, o conjunto das unidades amostrais escolhidas para se fazer essas observações constitui a amostra. Já a unidade amostral refere-se ao espaço físico sobre o qual são observadas e medidas as características quali-quantitativas da população (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

A amostragem é uma técnica de obtenção de informações através de estudos científicos, utilizando a estatística amostral e refere-se à parte da população constituída de indivíduos que apresentam características comuns e identificam a população a que pertencem (HOEL, 1977; HUSCH; MILLER; BEERS, 1982; PÉLLICO NETO; BRENA, 1997; VIEIRA, 1999). É prática geral selecionar uma amostra, que corresponde a uma pequena parte da população da qual se deseja obter a informação (BONETES, 2003).

A amostragem também é útil para determinar se as diferenças observadas entre duas amostras são realmente devidas a uma variação casual ou se são verdadeiramente significativas (SPIEGEL, 1993).

a) Vantagens da técnica de amostragem

Quando as informações são relacionadas à qualidade e à quantidade de povoamentos florestais, o censo e a amostragem podem ser feitas através da medição de todas as árvores componentes do ecossistema em questão, ou pela mensuração das árvores de pequenos compartimentos distribuídos sobre a área. O primeiro se faz através da completa enumeração, ou através do inventário de 100% dos indivíduos. Já o segundo envolve o uso de técnicas de amostragem (MACHADO, 1988).

Da mesma forma, inúmeras espécies de microrganismos habitam o solo de ecossistemas florestais, exercendo as mais diferentes atividades. Para avaliá-las, é imprescindível o conhecimento da densidade, idade e espécies florestais que compõem o ecossistema, entre outros, que o compõem, fazendo uso de técnicas de amostragem. Dentre esses, a avaliação da densidade e diversidade são atualmente possíveis. O primeiro passo, sem dúvida, é fazer amostragens e estimar o valor dos parâmetros da população, devido às vantagens que apresentam. O importante é saber que o método depende da idade das árvores inventariadas, dos custos admissíveis e da precisão desejada, para recair na

escolha da amostragem (AVERY; BURKHART, 1983; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Avery e Burkhart (1983) descrevem que diversas são as vantagens das técnicas de amostragem:

- a) os resultados são obtidos mais facilmente devido ao menor tempo e devido aos menores recursos necessários;
- b) é amplamente aplicável, pois existem muitos casos em que a completa enumeração será absolutamente impraticável;
- c) as amostras apresentam menor custo;
- d) as informações que se obtém através do uso de técnicas de amostragem, proporcionam dados mais confiáveis porque um número menor de unidades amostrais pode ser efetuado com maiores detalhes.

Outra vantagem do uso da técnica de amostragem apresentada é a maior acuracidade, haja vista que, medições de uma porcentagem pequena de unidades na população, freqüentemente fornecerão informações mais seguras do que medidas aproximadas obtidas de populações inteiras (grandes). Assim, a teoria da amostragem mostra que um estudo científico, que depende de uma metodologia para coleta, identificação, classificação e análise de dados para interpretar e concluir necessita do estudo das relações que existem entre uma população e as amostras dela extraídas (HOEL, 1977; AVERY; BURKHART, 1983; SPIEGEL, 1993).

De acordo com Hosakawa (1988), quaisquer estimativas dos parâmetros estão sujeitas aos erros de amostragem provenientes da condução, como do procedimento de seleção das unidades amostrais.

A amostragem pode ser classificada de acordo com a periodicidade, a estrutura e a abordagem da população. Em relação à periodicidade, a amostragem pode ocorrer em uma ocasião ou em múltiplas ocasiões, sendo esta última denominada também como monitoramento da população (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

Os mesmos autores descrevem que na classificação quanto à estrutura, a amostragem pode ser aleatória, sistemática e mista. A amostragem aleatória

adota o sorteio das unidades amostrais com um critério probabilístico aleatório, dividindo-se, por sua vez, em aleatória irrestrita, na qual não há restrição imposta ao processo de seleção das unidades e aleatória restrita, em que a restrição é caracterizada por estágios hierárquicos do processo de seleção.

Entre os processos aleatórios restritos encontra-se incluída a amostragem em dois estágios, porque o segundo estágio fica restrito ao primeiro. Neste caso, a população é dividida em um número (N) de unidades que irão compor o primeiro estágio e, em seguida, estas unidades primárias são subdivididas em um número (M) de unidades que constituem o segundo estágio (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

Na amostragem aleatória estratificada utiliza-se dividir uma população heterogênea em subpopulações ou estratos homogêneos, de tal modo que os valores da variável de interesse apresentem menor variação de uma unidade para outra. Isto permite a obtenção de estimativas mais precisas da média de um estrato, através de amostras menores deste estrato. Outro aspecto interessante para este tipo de amostragem é que as estimativas dos estratos podem ser combinadas, obtendo-se estimativas precisas para toda a população (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

A amostragem sistemática tem em seu processo probabilístico a seleção aleatória da primeira unidade amostral e a partir dela, as demais unidades amostrais são automaticamente selecionadas e sistematicamente distribuídas na população. Este procedimento resulta em uma regularidade, ou distribuição igualitária das unidades dentro da população a ser amostrada. A amostragem mista envolve sempre dois ou mais estágios, estando presentes as seleções aleatórias e sistemáticas simultaneamente (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

A amostragem segundo a abordagem da população é classificada em método, processo e sistemas de amostragem.

Método de amostragem refere-se, ainda, à configuração da unidade amostral, sendo a seleção desta unidade realizada através de um critério probabilístico previamente definido, o qual define o método de seleção (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

Segundo Péllico Netto e Brena (1997) existem diversos métodos de amostragem na área florestal: método de área fixa, método de Bitterlich, método de Strand, método 3P de Grosenbaugh, método em linhas, método de seis árvores (Prodan), sendo o mais utilizado o método de área fixa e de Bitterlich (SOUZA, 1996). O método de Bitterlich refere-se à parcelas de dimensões variáveis, com diferentes tamanhos. Quanto as parcelas de dimensões fixas, estas ocupam espaços determinados pelas formas de figuras geométricas regulares, que podem variar desde quadrados aos poligonais, circulares e retangulares (MALLEUX, 1982).

Péllico Netto e Brena (1997) descrevem as vantagens do método de área fixa da seguinte maneira: todos os estimadores são obtidos diretamente na unidade amostral medida; é prático e simples na implantação das unidades amostrais; método comumente utilizado em inventários florestais, sobretudo quando envolve o aspecto de inventário florestal contínuo para fins de manejo florestal; as unidades permanentes trazem a vantagem de manter alta correlação entre duas ou mais medidas sucessivas. Quanto às desvantagens citaram: maior custo no estabelecimento e manutenção dos limites das unidades amostrais; em geral por ter um grande número de medições nas unidades amostrais, quando comparados com outros métodos, há necessidade de se escolher um tamanho que possibilite manter um número significativo de indivíduos na unidade permanente.

Existem ainda, os métodos de parcelas múltiplas que permitem avaliar quantitativamente a variabilidade dos parâmetros estimados e, ao mesmo tempo, dá informações sobre o padrão espacial de distribuição dos indivíduos em cada população (BONETES, 2003). Quanto aos métodos de distância, estes supõem que deve haver uma relação inversa entre a densidade dos indivíduos por área e as distâncias entre eles, numa população de distribuição espacial aleatória, e com isso, medindo-se as distâncias entre os indivíduos, possibilita a estimação de sua densidade por área (MARTINS, 1993).

Método de amostragem refere-se, ainda, à configuração da unidade amostral, de acordo com a área (100 m², 400 m², 1.000 m², entre outras), um

número pré-definido de árvores (ecossistemas), uma linha ou outro “design” qualquer, inclusive uma única árvore (SANQUETTA, 2002).

As unidades amostrais de área fixa, utilizadas em inventários florestais, são denominadas parcelas ou faixas. O termo geral de parcelas é usado para unidades amostrais de áreas até um hectare de tamanho e formas diversas: quadradas, circulares, retangulares e poligonais, cujo formato em faixas pode ser considerado um tipo especial de parcela retangular, onde o comprimento é, em muitas ocasiões, maior que a largura (BONETES, 2003). A forma e o tamanho ideal a ser empregado sob determinadas condições florestais é muito variável (HUSCH, 1971).

De acordo com Johnson e Hixon (1952), a forma das amostras influi grandemente na precisão dos inventários florestais. Parcelas circulares são mais fáceis de estabelecer do que amostras angulares, devido ao menor perímetro para uma área dada, além da vantagem de que uma só medida, que é o raio, pode ser usada para definir o perímetro, além de apresentar um número menor de árvores na bordadura, de seleção duvidosa e ter uma representação sem direções privilegiadas (isotrópica) da floresta ao redor do centro. É uma forma que vem sendo aplicada cada vez mais em zonas temperadas. Entretanto, em florestas tropicais onde as condições de acesso são difíceis e há necessidade de parcelas de tamanho maior, tudo indica que a forma mais adequada é a quadrada ou retangular (KULOW, 1966).

O tamanho da parcela deve possibilitar a inclusão de pelo menos 20 a 30 árvores medidas e pequena o suficiente para permitir que se possa efetivar a medição dentro da operacionalidade não muito longa. Geralmente, unidades amostrais grandes são requeridas para árvores grandes e povoamentos abertos (SPURR, 1952). Isto mostra que unidades amostrais pequenas incluem sítios pequenos e muito específicos, de tal maneira que a variabilidade dentro de cada unidade de amostra é muito pequena, devido a maior fonte de variabilidade que se encontra entre as unidades de amostra, significando que há uma grande diferença entre uma e outra, pelas características específicas que os sítios possuem. Unidades grandes envolvem sítios maiores, mostrando que existe alta variabilidade dentro das unidades amostrais e baixa variabilidade entre elas.

Com esses conceitos, é possível concluir que as unidades pequenas são mais aptas para ecossistemas florestais homogêneos e as unidades grandes para florestas heterogêneas, devido ao fato de que as unidades grandes garantem maior representatividade de ecossistemas florestais (MALLEUX, 1982). Por isso, não se deve empregar unidades muito pequenas, porque nelas se destacam os erros de bordadura, ou seja, resultantes da exclusão e inclusão de indivíduos de bordadura (FAO, 1974).

Os coeficientes de variabilidade em populações de florestas tropicais têm grande variação, devido à unidade de amostra utilizada. Em unidades de pequeno tamanho, a maior fonte de variação ocorre nas próprias unidades amostrais (MALLEUX, 1982).

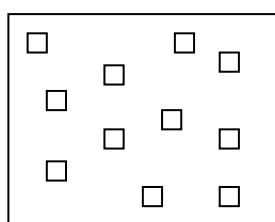
A variação da população é intimamente relacionada com o tipo de ecossistema florestal. É o caso de florestas de áreas aluviais, em que a variação é alta. Em áreas altas e com boa drenagem esta variação é menor e em condições específicas de sítio ou condicionantes edáficas a variação é baixa. De acordo com Husch, Miller e Beers (1982) as unidades amostrais pequenas são normalmente mais eficientes que as grandes. Em ecossistemas florestais homogêneos a precisão para uma determinada intensidade de amostragem tende a ser maior para as unidades amostrais pequenas, do que para as grandes. Os mesmos autores citam que isto se deve ao fato do número de unidades amostrais independentes ser maior. Entretanto, é indispensável considerar que o tamanho da unidade mais eficiente também recebe a influência pela variabilidade da floresta. Em casos em que as unidades amostrais pequenas são tomadas em florestas heterogêneas, os coeficientes de variação são altos. Nesses casos, as unidades amostrais maiores são mais eficientes.

A precisão e o tamanho da amostra consideram a variabilidade populacional, ao nível de toda a área ou por estratos. Uma amostra é estatisticamente eficiente quando representa com fidelidade as características da população, o que significa que uma amostra pequena bem localizada ou distribuída, tem maiores chances de ser mais eficiente que uma amostra de maiores extensões e mal distribuídas (SINGH, 1974; MALLEUX, 1982). Em uma amostra de tamanho maior ocorre um erro menor. Entretanto, o tamanho das

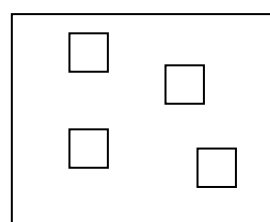
unidades amostrais possuem um limite acima e abaixo das quais elas perdem em eficiência (SINGH, 1974).

Em florestas tropicais tem se apresentado eficiente, além de ser comum o uso de unidades amostrais de tamanho grande de um até dois hectares. A forma e o tamanho das unidades amostrais para florestas plantadas variam entre 20 m² e 1000 m², mostrando que ainda os trabalhos estão por decidir a consistência sobre o tamanho dessas unidades, considerando-se a experiência prática e de equilíbrio entre a precisão e os custos. Amostras de 0,6 ou 0,7 ha perdem informações gradativamente e determinadas espécies florestais tendem a desaparecer ou desaparecem totalmente da amostra (MALLEUX, 1982).

É importante ter, de cada unidade amostral, uma “visão clara” que represente o ecossistema florestal e isto só poderá ser atingido se as parcelas tiverem tamanhos adequados. É o caso de uma unidade amostral com 0,01 ha em uma floresta tropical para a estimativa do volume de tamanho explorável, o qual não seria útil para esta finalidade. Por outro lado, a intensidade amostral é maior para uma amostra formada por um grande número de unidades amostrais pequenas (situação 1), do que para um equivalente de mesma área, formada por um menor número de unidades amostrais de maior tamanho (situação 2), todos tendo a mesma forma.



Situação 1



Situação 2

Por isso, eleger um tamanho para as unidades amostrais constitui compromisso entre as necessidades que contrapõe sobre a precisão da amostragem e os aspectos práticos: representatividade das unidades de amostra e da confiabilidade dos dados básicos. Em geral, um tamanho de unidade amostral igual a 0,4 ou 0,5 ha é considerado adequado aos inventários de ecossistemas florestais. Para unidades amostrais na forma retangular, o

tamanho deve considerar uma amplitude de 1% a 10%/ha, isto é, de 100 m² a 1.000 m², conseguem cobrir adequadamente o intervalo, configurando, assim, um tamanho de unidade amostral ideal para estimativa volumétrica de um povoamento. A definição do tamanho deve considerar a experiência prática e a precisão (SILVA, 1980; BONETES, 2003).

Tello (1980) testou diversas formas: circulares, quadradas e retangulares com tamanhos de 200, 400, 600, 800 e 1000 m² em uma floresta nativa de *Araucaria angustifolia* e observou que as unidades amostrais de 1000 m² e a forma circular tiveram a melhor eficiência relativa em ecossistema florestal com topografia plana, boa acessibilidade e visibilidade.

Também Silva (1980), estudando os tamanhos de 400, 500, 600, 800, 900 e 1000 m² nas formas quadrada, retangular e circular na região do Baixo Tapajós, observou que as unidades amostrais quadradas apresentaram menor tempo total de medição, quando comparadas com outras formas de mesmo tamanho. Para ele, as unidades amostrais quadradas de 900 m² e 2500 m² foram mais eficientes que os demais tamanhos e formas. Segundo Lamprecht (1990), que realizou pesquisas na floresta amazônica peruana, a área mínima da unidade amostral para uma amostragem representativa do povoamento, em seu conjunto e para pesquisas sobre a dinâmica florestal, não deveria ser inferior a um hectare. Também Longhi (1997), em um estudo de agrupamento e análise fitossociológica de populações florestais no Rio Grande do Sul, aplicou parcelas retangulares de 10 m x 100 m (1000 m²), tamanho este muito empregado e recomendado em inventários florestais. Há ainda, estudos sobre a estrutura e dinâmica de crescimento de florestas tropicais primárias e secundárias no Estado do Pará, onde foram utilizadas unidades amostrais de 50 m x 50 m (GOMIDE, 1997).

Para a caracterização da estrutura de uma floresta estacional semidecidual, no município de Cássia - MG foram utilizadas unidades amostrais quadradas com área de 10.000 m². Para a instalação, utilizou 12 unidades amostrais permanentes, distribuídas sistematicamente (CORAIOLA, 1977). Também Pizzatto (1999) aplicou parcelas permanentes com forma quadrada: 100 m x 100 m para avaliação biométrica da estrutura e dinâmica de uma

Floresta Ombrófila Mista, em São João do Triunfo, PR, com base no princípio de que o tamanho da parcela para um levantamento estrutural e avaliação dos processos dinâmicos em florestas naturais deva ser de um hectare. Além desses estudiosos, Vidal (2000), em trabalhos de regeneração natural em floresta estacional semidecidual, empregou unidades amostrais de área fixa quadrada de 10.000 m². Segundo Isernhagen (2001), grande número de trabalhos são encontrados no Estado do Paraná utilizando tamanhos de unidades amostrais entre 50 m² a 10.000 m².

O processo de amostragem é entendido como a abordagem da população em relação ao conjunto das unidades amostrais. A periodicidade com que a amostragem é realizada está fortemente ligada ao processo de amostragem. A realização de uma única abordagem mostra que os processos são mais específicos e estão vinculados à população; se a abordagem for composta por múltiplas ocasiões ou sucessivas ocasiões da mesma área, os processos apresentam-se mais complexos (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

Finalmente, o conjunto de processos e/ou métodos de amostragem utilizados de forma integrada, visando uma determinada condição ou área compõe o sistema de amostragem. São aplicados para monitoramento das populações, conferindo ao trabalho maior flexibilidade, maior eficiência e menor custo (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 SÍNTESE GERAL

Os dados foram coletados em unidades amostrais (parcelas) de 10.000 m² da Floresta Ombrófila Mista e de povoamento florestal de *P. taeda* (25 anos de idade). Foram avaliadas as variáveis explicativas referentes ao tipo de solo e sua caracterização física, química e microbiológica em três profundidades: serapilheira, transição (serapilheira para solo) e solo propriamente dito. A caracterização da toposequência do espaço físico e seus aspectos geológicos também fizeram parte das variáveis explicativas.

Os fatores estudados foram: estações do ano (inverno e verão), profundidades (serapilheira, zona de transição e solo), posição e blocos.

As Tabelas 7 (p. 122) e 8 (p. 124) apresentam os dados de umidade. A Tabela 9 (p.129) apresenta os teores de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, N e P da condição nutricional da serapilheira. Os dados das características físicas e componentes químicos referentes à zona de transição e solo estão apresentados nas Tabelas 11 (p. 208) e 12 (p. 209). A Tabela 13 (p. 210) apresenta os dados das populações de bactérias, fungos, actinomicetos, solubilizadores e celulolíticos e a Tabela 16 (p. 237) apresenta os dados de biomassa.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com arranjo fatorial. As análises estatísticas tiveram como principal integrante a análise de variância, Teste de Hartley, Teste “t” de Student e Teste de Tukey.

A comparação das médias do número de microrganismos foi realizada por meio da análise de variância, quando suas variâncias resultavam homogêneas. Adicionalmente, quando verificada a diferença entre as médias, realizou-se o teste de Tukey. A homogeneidade das variâncias (serapilheira, zona de transição e solo) foi verificada por meio do teste de Hartley.

Aplicou-se a transformação logaritmica aos dados de bactérias e fungos, com o objetivo de homogeneizar as variâncias. Foram consideradas variâncias não homogêneas aquelas com diferenças significativas ao nível de 99% de significância.

Para as variáveis actinomicetos, solubilizadores de fosfato e celulolíticos utilizou-se a transformação por raiz quadrada do inverso do logaritmo, sendo “x” a variável em questão:

$$\sqrt{\frac{1}{\log x}}$$

3.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Os módulos experimentais foram implantados no município de Tijucas do Sul –PR, entre 25° 56' 00" S de latitude, 49° 10' 00" de longitude W, com altitudes variando de 856 m a 1350 m acima do nível do mar, situado no Primeiro Planalto do Estado do Paraná, na localidade conhecida como Serra da Lagoa em Floresta Ombrófila Mista e em povoamento florestal com *P. taeda*.

O município de Tijucas do Sul (Figura 1) integra a Região Metropolitana de Curitiba-PR, a uma distância de 60 km ao sul da capital, fazendo divisa com São José dos Pinhais, Mandirituba, Agudos do Sul, próximo à divisa com o Estado de Santa Catarina (CIGOLINI; MELLO; LOPES, 2001).

A figura 1 apresenta a localização da área de estudo.



FIGURA 1 – Localização da área de estudo

A área da Floresta Ombrófila Mista é uma Reserva do Patrimônio Natural que originalmente pertencia a Empresa PANAGRO Empreendimentos Florestais LTDA, que posteriormente foi cedida em comodato à Pontifícia Universidade Católica do Paraná para firmar Aliança Ecológica com o VIVAT FLORESTA SISTEMAS ECOLÓGICOS (FERREIRA, 2004; GANHO; MARINONI, 2006). Dentro dessa área também são realizadas as "Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD – site 9 – CNPQ), sendo que o presente trabalho também faz parte de um projeto maior do PELD (Conservação e Manejo Sustentável de Ecossistemas Florestais). A área pertencente ao "povoamento florestal com *P. taeda*", é da Empresa PANAGRO Empreendimentos Florestais LTDA (FERREIRA, 2004). O experimento foi conduzido em dois ecossistemas florestais e em duas etapas:

- a) a campo: Floresta Ombrófila Mista (floresta natural) e povoamento florestal com *P. taeda*;
- b) em laboratório (Laboratório de Microbiologia, Química e Bioquímica e de Solos do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais da Pontifícia Universidade Católica do Paraná – Campus - São José dos Pinhais).

3.3 CLIMA

O clima da região de acordo com o IAPAR (1978) é classificado como subtropical úmido mesotérmico, com verões frescos e geadas severas e freqüentes sem a estação seca (Cfb). A média do mês mais quente é menor que 22° C e do mês mais frio menor que 18° C.

A região caracteriza-se por possuir elevada precipitação pluviométrica e chuvas bem distribuídas durante o ano. A precipitação pluviométrica média anual é de 1300 – 1400 mm e a umidade relativa média é de 80-85 %. A temperatura da região recebe a influência altimétrica por se localizar na faixa da Serra do Mar.

3.4 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES

Os procedimentos para a identificação das características dos ecossistemas florestais foram baseados em: obtenção de materiais sobre a área em estudo, compreendendo a seleção de fotografias aéreas e mapas básicos em diferentes escalas, estudos gerais da região referentes aos solos e áreas correlatas, geologia, geomorfologia, clima, vegetação natural e anterior ao povoamento florestal com *P. taeda*.

Foram realizadas observações sobre o perfil cultural, que consiste na abertura de uma trincheira que permite a visualização integrada de solo e planta para posterior interpretação holística dos fatores que atuam no sistema solo-planta.

Após o levantamento inicial, foram estabelecidas duas estações do ano (verão e inverno) para coleta, e com base na fotogrametria e fointerpretação foram delimitadas as principais unidades fisiográficas: topo (elúvio ou saprólito), meia encosta (colúvio) e relevo plano (colúvio-alúvio). Fez também parte do estudo preliminar o tipo de serapilheira e sua influência na produtividade de solos florestais, o estudo fitossociológico e botânico, de acordo com o levantamento realizado por Ferreira (2004). Além desses, tendo como base as classes da toposequência física definidas pela declividade, foi iniciado o planejamento de um estudo microbiológico que contemplasse blocos fixos, estruturados em três classes: toposequência 1, toposequência 2 e toposequência 3 na Floresta Ombrófila Mista. Quanto ao relevo do povoamento florestal com *P. taeda* considerado plano foram implantados, também, três blocos fixos.

Para definir o número de blocos foi realizado um levantamento sobre o tamanho e a forma dos blocos e a possível variabilidade existentes em relação às unidades formadoras de colônia (UFC) em diferentes toposequências. Considerando-se que o estudo refere-se aos solos de florestas, baseou-se o tamanho e forma para a obtenção de amostras representativas, aquele utilizado em inventários florestais.

3.4.1 Caracterização ambiental das áreas experimentais

O ecossistema de tipologia natural se insere dentro do complexo fitogeográfico, denominado Floresta Ombrófila Mista (LEITE; KLEIN, 1990; VELOSO; RANGEL-FILHO; LIMA, 1994). A vegetação natural existente pertence ao bioma "Mata Atlântica". O ecossistema povoamento com *P. taeda* com idade de 25 anos, apresenta uma densidade média de 450 árvores por hectare, tendo sido submetido a duas desramas.

Os dois ecossistemas diferem devido às peculiaridades de sítio referentes a distintas composições florísticas e estruturais e aos variados níveis de perturbações aos quais foram submetidos.

A Figura 2 (a) apresenta a Floresta Ombrófila Mista e a Figura 2 (b) o povoamento com *P. taeda*.

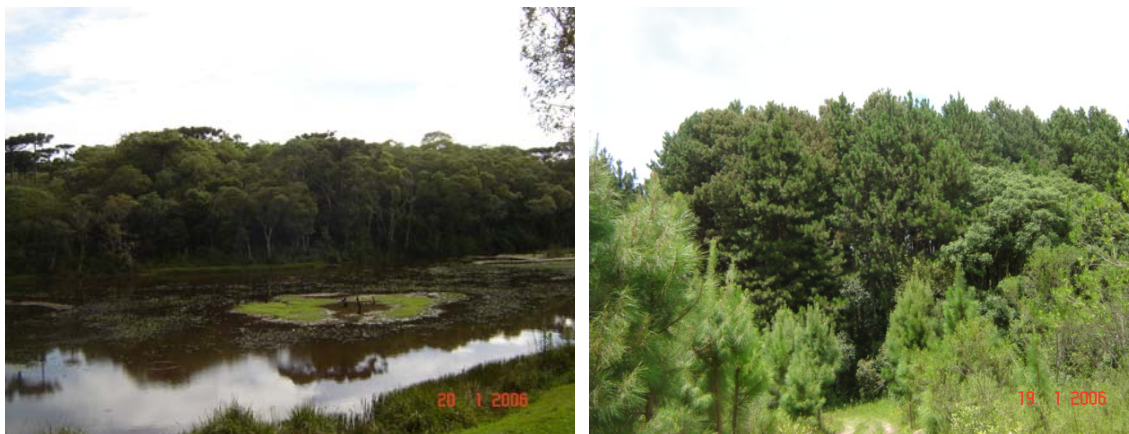


FIGURA 2 – Floresta Ombrófila Mista, ao fundo (a) e povoamento florestal com *P. taeda* de 25 anos de idade (b).

No caso da Floresta Ombrófila Mista, pouco resta de floresta primitiva, sendo encontrados apenas alguns remanescentes distribuídos na área, ou seja, fragmentos com vegetação primária e fragmentos naturais em estágio avançado de regeneração. Atualmente, as formações secundárias em estágio intermediário e avançado predominam na maior parte da vegetação (IBGE, 1992). Pelo aspecto botânico, as unidades amostrais da Floresta Ombrófila Mista apresentam características fisionômicas similares. Também foram encontradas nesta unidade vegetacional árvores tombadas recente e naturalmente, e outras

em estado de decomposição avançada. Além disso, de acordo com Ferreira (2004), o remanescente florestal melhor conservado é mais abundante o pinheiro-bravo, seguido da guaçatunga e da imbuia, que representam 56% de cobertura de copa, além destas são encontradas a araucária, canela e sassafrás.

Quanto ao povoamento florestal com *P. taeda*, uma vez que se trata de reflorestamento para fins comerciais, as desramas feitas, anteriormente, deram espaço ao desenvolvimento de uma mistura florística entre espécies oportunistas e o próprio pinus.

Também foram abertas trincheiras para a observação dos perfis do solo nos dois ecossistemas (Figura 3a e 3b).

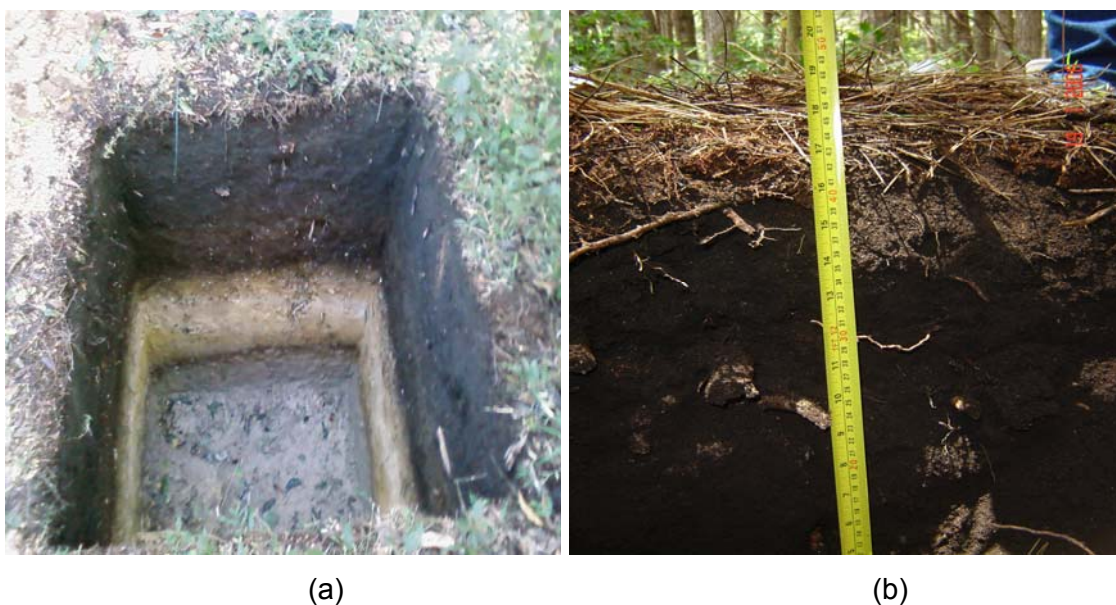


FIGURA 3 – Trincheiras para observação dos perfis de solos da área com Floresta Ombrófila Mista (a) e no povoamento florestal com *P. taeda* (b)

3.4.2 Caracterização da geomorfologia e geologia dos ecossistemas: Floresta Ombrófila Mista e povoamento de *P. taeda*.

Segundo estudos do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 1986), esta área pertence ao domínio da faixa de dobramentos remobilizados, na região das escarpas e reversos da Serra do Mar. A área encontra-se localizada sobre o embasamento cristalino (PÖTTER et al., 2004). O

relevo constitui-se de colinas, com topografia concordante, em determinado grau, sugerindo corresponder a formação residual de uma superfície de aplanamento.

É uma região planáltica do Estado do Paraná, com aproximadamente 800 a 1200 m de altitude. É uma área sem a influência direta do oceano, portanto situa-se a Oeste da Serra do Mar (ocidental), com chuvas bem distribuídas e ocorrência de geadas no inverno, conseqüentemente influenciando na composição florestal.

3.4.3 Caracterização toposequencial e classificação de solos das áreas experimentais

A mesma trincheira do perfil cultural foi aproveitada para o reconhecimento do solo em caráter pedológico. A classificação dos solos da Floresta Ombrófila Mista foi baseada no estudo do sistema proposto pela EMBRAPA (2006) e constatado por Parchen (2007). O aspecto topográfico existente nesse ecossistema apresenta três tipos de relevo: plano, suave ondulado e ondulado (FIGURA 4).

No relevo considerado plano (0 – 3% de declividade) o solo é aluvial, predominando o ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, de textura média e profundidade entre 2,0-2,5m, cerosidade nos agregados do horizonte Bt, bem como transição clara entre A e Bt; nítido contraste de cor e textura entre os horizontes A e Bt. São solos distróficos devido a saturação por bases baixa ($V < 50\%$), na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). São, também, solos que se originaram de rochas sedimentares (folhelhos argilosos e siltitos) e de rochas do complexo cristalino (granitos e migmatitos).

Na zona de meia encosta, considerado ondulado e solo coluvial, foi constatado declives de 12 – 18%, predominando a Associação de CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico argissólico típico com ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico câmbico.

Na zona considerada topo da colina, foram encontrados solo eluvial, em declividade superior a 18%, em geral áreas com 20-22% de declividade, onde

predominou a Associação Cambissolo Háplico Distrófico Típico com Neossolo Litólico típico, com alguns afloramentos de rochas. Os Cambissolos referem-se ao grupamento de solos pouco desenvolvidos com horizonte incipiente; pedogênese pouco avançada evidenciada pelo desenvolvimento da estrutura do solo, ausência ou quase ausência da estrutura da rocha, cromas mais fortes, matizes mais vermelhos ou conteúdo de argila mais elevado que os horizontes subjacentes; compreendem solos constituídos por mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, desde que em qualquer dos casos não satisfaçam os requisitos estabelecidos para serem enquadrados em outras classes. Devido à heterogeneidade do relevo, principalmente, e do material de origem, as características destes solos variaram muito de um local para outro.

▪ **Caracterização toposequencial e classificação de solos do ecossistema Floresta Ombrófila Mista**

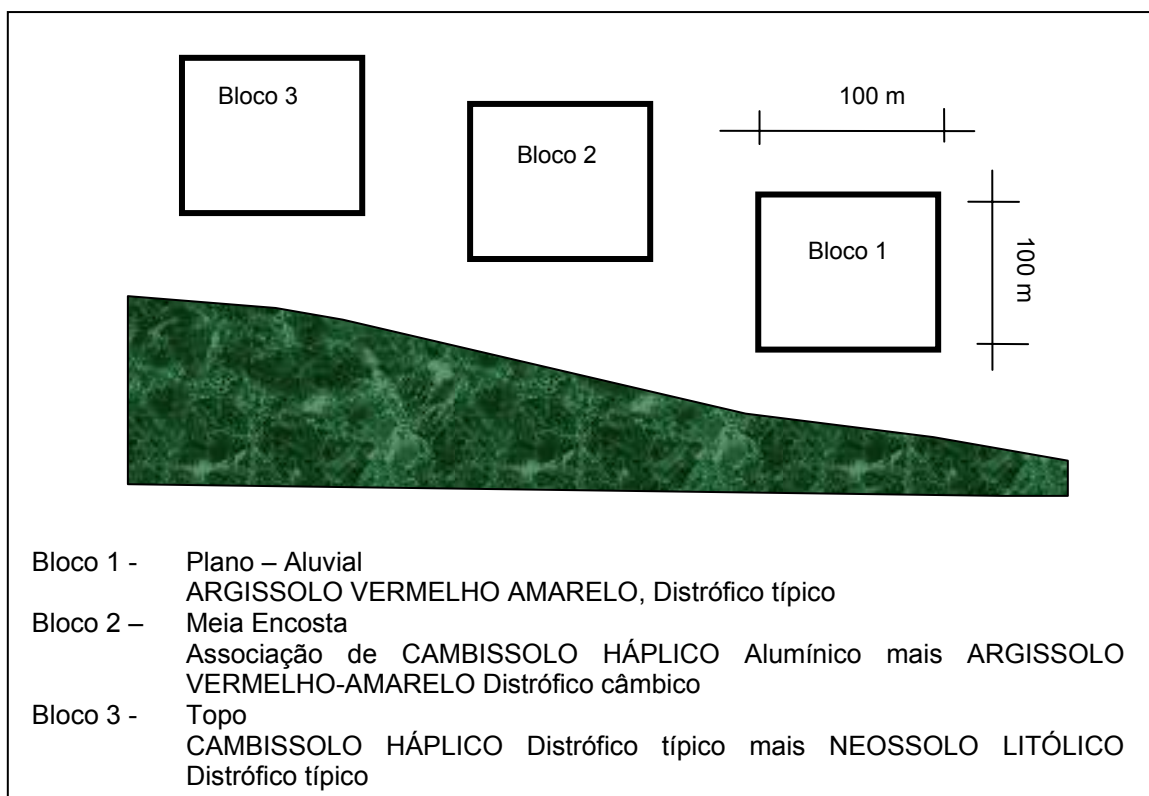


FIGURA 4 – Toposequência da área experimental – Floresta Ombrófila Mista

Os Neossolos são relacionados ao grupamento de solos pouco evoluídos, com ausência de horizonte B diagnóstico. São solos em via de formação, seja pela reduzida atuação dos processos pedogenéticos, pela grande declividade dos terrenos, que provoca a remoção do material intemperizado, ou ainda, por características inerentes ao material originário. Compreendem solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso com pequena expressão dos processos pedogenéticos em consequência da baixa intensidade de atuação desses processos, que não conduziram, ainda, às modificações expressivas do material originário, de características do próprio material, pela sua resistência ao intemperismo ou composição química e do relevo, que podem impedir ou limitar a evolução desses solos.

Os Neossolos foram encontrados no topo da colina, provenientes de rochas do complexo cristalino (granitos). São solos jovens e rasos de espessura (Figura 5).



FIGURA 5 - Afloramento de rocha granítica na toposequência topo-colina de Floresta Ombrófila Mista.

Como há grande quantidade de matéria orgânica, os horizontes superficiais são de cor escura e a fração subsuperficial de cor brunada. Seus solos apresentam classe textural franco-argilosa e argilosa e com boa drenagem;

a acidez é moderada a fortemente ácida, normalmente com baixa saturação por bases.

▪ **Caracterização toposequencial e classificação de solos do ecossistema povoamento com *P. taeda***

O relevo do ecossistema *P. taeda* é plano, sendo o solo classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico argissólico. A Figura 6 apresenta o esquema de distribuição dos três blocos no povoamento com *P. taeda*.

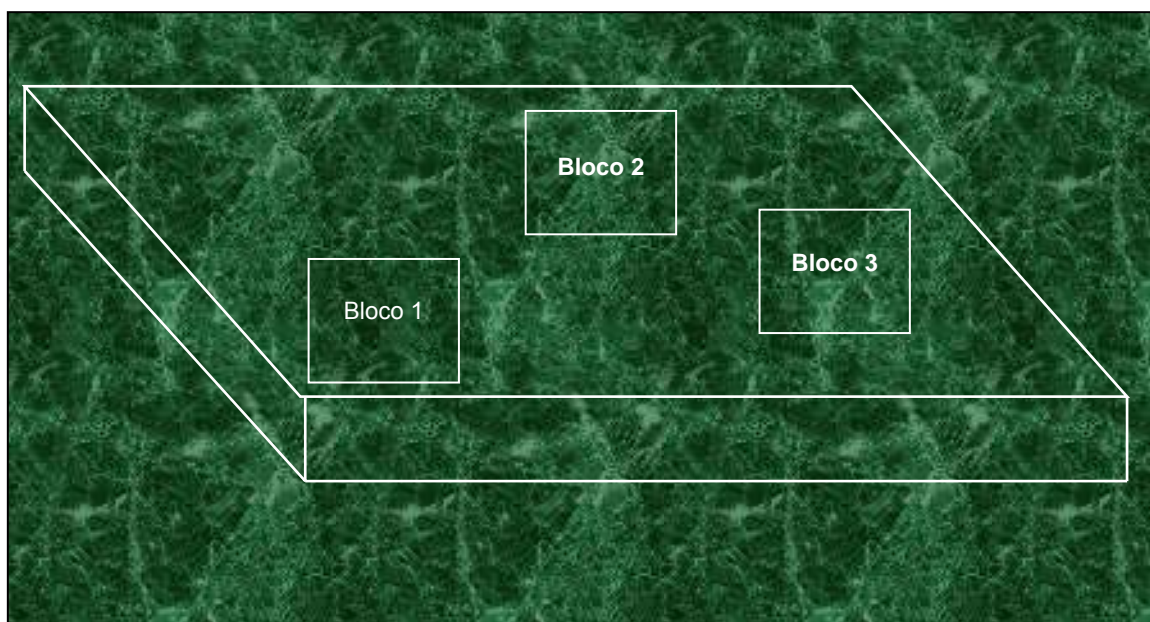


FIGURA 6 – Distribuição dos três blocos em povoamento com *P. taeda* em CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico argissólico.

3.5 DELIMITAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL E DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES

Foram instalados dois experimentos, ambos em blocos ao acaso com esquema fatorial variando em função dos tratamentos testados e três repetições para todos os tratamentos. Na Tabela 1 são apresentadas as variáveis estudadas, os tratamentos e número de repetições.

TABELA 1 – Variáveis explicativas, tratamentos e repetições utilizadas.

Variáveis	Tratamentos	Níveis	Repetições
Umidade	Estação	inverno	3
		verão	3
	Profundidade	serapilheira	3
		zona de transição solo	3 3
Blocos	1, 2, 3	3	
Condição Nutricional da Serapilheira	Blocos	1,2,3	3
Fertilidade	Posição	A,B,C,D, E	3
	Profundidade	zona de transição	3
		solo	3
	Blocos	1,2,3	3
Microorganismos (bactérias, fungos, actinomicetos, solubilizadores de fosfato e celulolíticos)	Estação	inverno	3
		verão	3
	Profundidades	serapilheira	3
		zona de transição	3
		solo	3
Blocos	1,2,3	3	
Biomassa	estação	inverno	3
		verão	3
	profundidade	serapilheira	3
		zona de transição	3
		solo	3
blocos	1,2,3	3	

3.5.1 No campo

Em cada ecossistema: Floresta Ombrófila Mista e povoamento de *Pinus taeda*, foram utilizados três blocos experimentais permanentes, com dimensões de 100 m x 100 m, ou seja, 10.000 m². Para o povoamento com *P. taeda*, com idade de 25 anos, com três desbastes e com densidade média aproximada de 450 árvores por hectare, teve-se o cuidado de se utilizar na delimitação dos blocos as mesmas dimensões, e que não tivessem discrepâncias fisionômicas de altura, variedade e estruturais internas. Essas demarcações foram utilizadas para a primeira amostragem (verão) e a segunda no inverno.

Para a delimitação dos blocos foi utilizada trena de 50 m, bússola, balizas topográficas pintadas de vermelho e amarelo, fitas de trânsito (preta e amarela), e “tinta spray” de cor vermelha e amarela. Os pontos foram delimitados nos extremos do bloco com GPS de navegação e demarcados com estacas e fitas plásticas de cor preta e amarela para posterior delimitação do comprimento de 100 m, que foi utilizado para demarcar um dos lados do bloco.

Com base na primeira linha, demarcou-se um bloco de 100 m x 100 m. Após as demarcações, procedeu-se a divisão dos blocos em 100 unidades de 10 m x 10 m, isto é, 100 m² de área cada um. Das cem unidades, foi feita a distribuição aleatória de cinco unidades amostrais para amostragem da serapilheira, zona de transição e solo, identificadas como 1A, 1B, 1C, 1D e 1E, onde 1 representou a camada da serapilheira, 2A, 2B, 2C, 2D, e 2E a zona de transição e, finalmente, 3A, 3B, 3C, 3D e 3E o solo.

As Figuras 7 e 8 apresentam o croqui da área experimental e distribuição dos blocos, unidades e unidades amostrais.

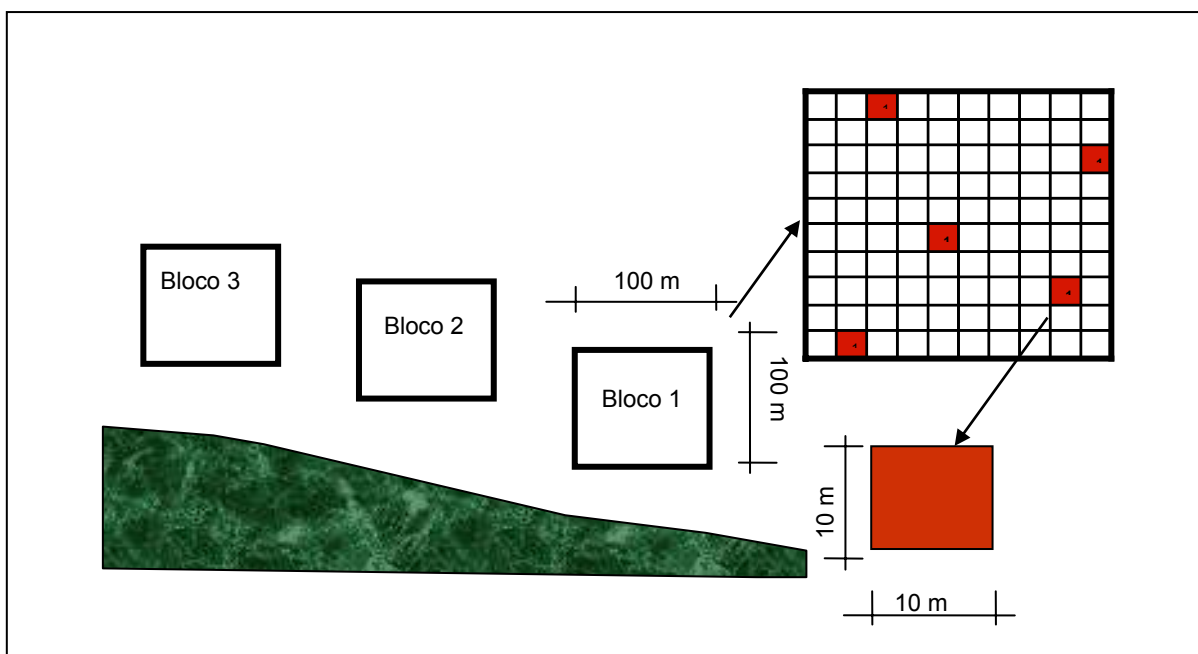


FIGURA 7 – Distribuição dos blocos e unidades amostrais na Floresta Ombrófila Mista

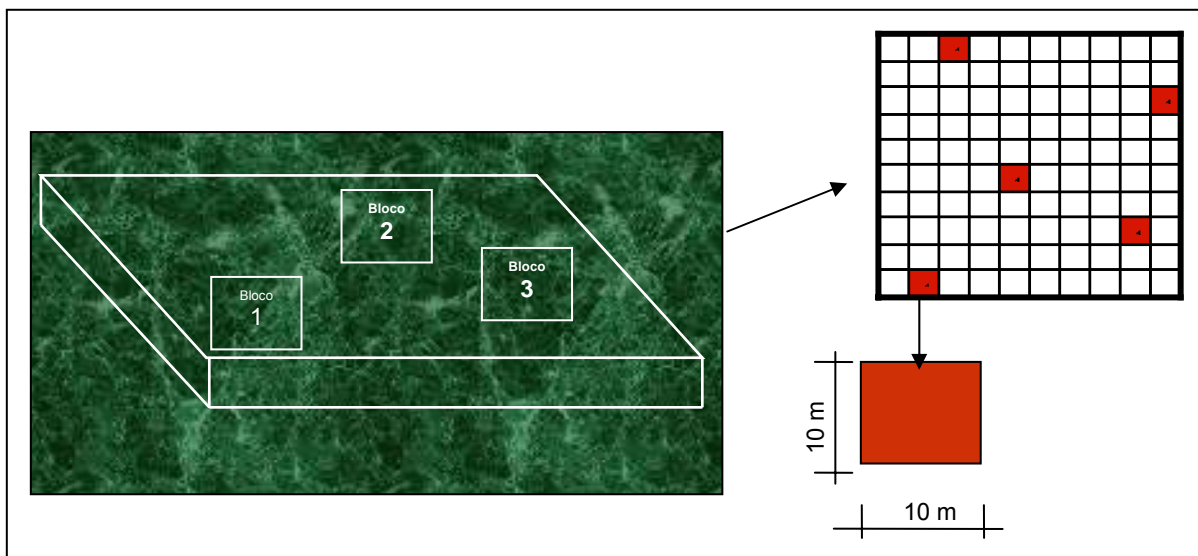


FIGURA 8 – Distribuição dos blocos e unidades amostrais no povoamento com *P.taeda*.

- Coleta de amostras a campo

A Figura 9 apresenta o fluxograma da amostragem para a Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com *P. taeda*.

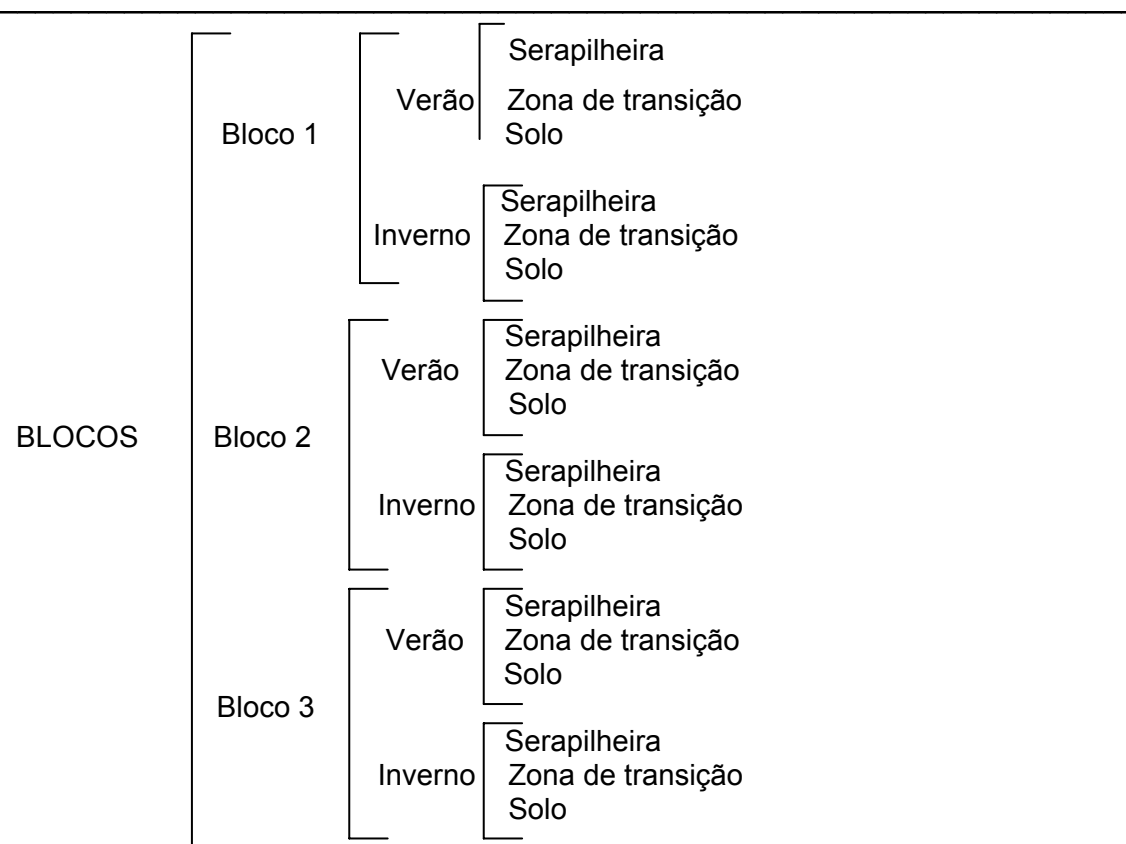


FIGURA 9 – Fluxograma de amostragem em três blocos, três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (verão e inverno).

As amostragens foram feitas no verão e inverno em três camadas: serapilheira, transição e solo. Foi construído um quadrado de 1,0 m x 1,0 m, de madeira, para a amostragem nas unidades amostrais. Em cada estação do ano foram coletadas aleatoriamente cinco amostras simples do quadrado de 1,0 m x 1,0 m, que posteriormente foram homogeneizadas, formando uma amostra composta. A Figura 10 apresenta a distribuição dos blocos, unidades amostrais e o procedimento da amostragem para a Floresta Ombrófila Mista.

a) Floresta Ombrófila Mista

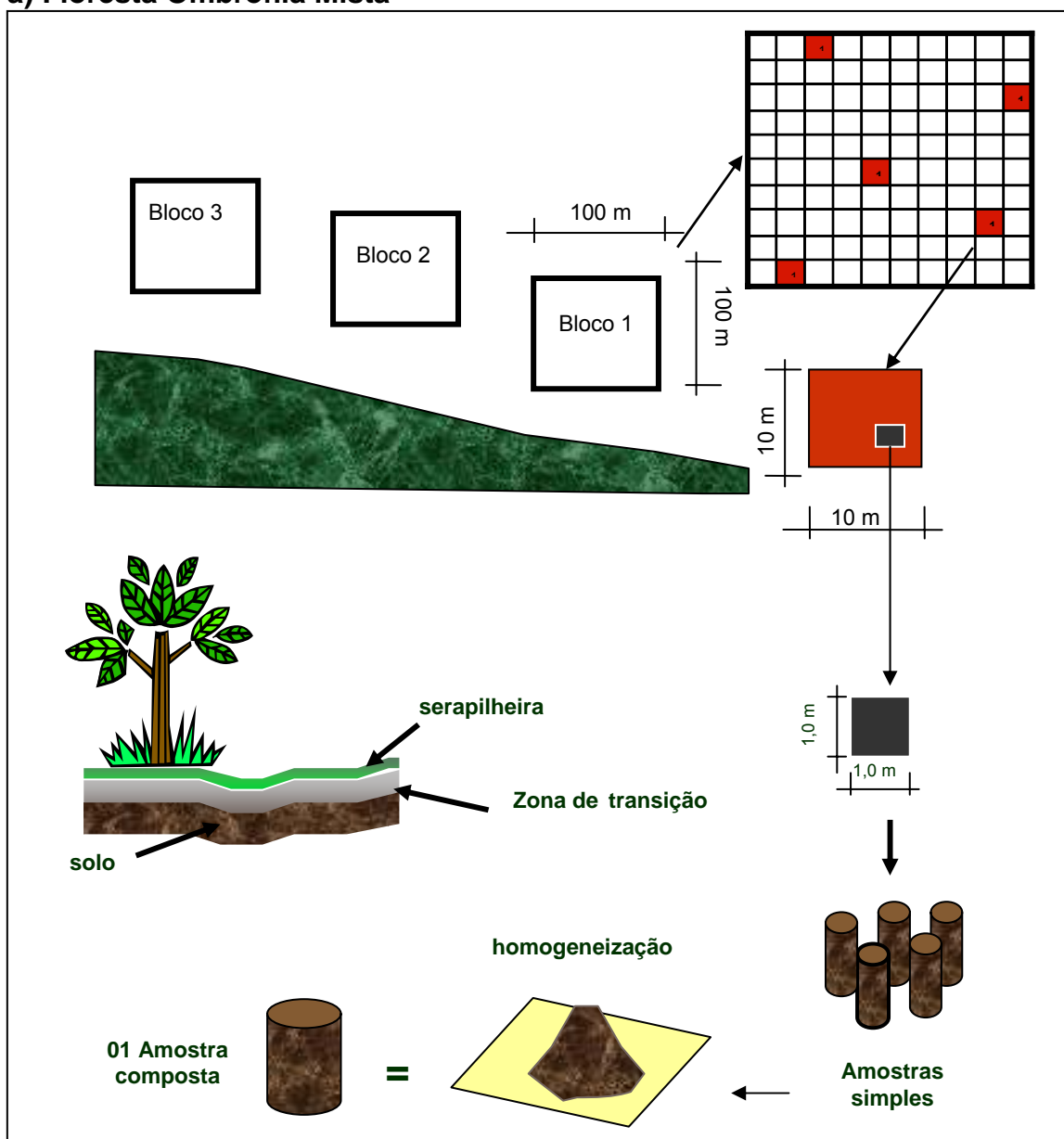


FIGURA 10 – Esquema de amostragem em Floresta Ombrófila Mista na serapilheira, zona de transição e solo.

Procedimentos de amostragem

• Serapilheira

Foram coletadas aleatoriamente cinco amostras simples, dentro da área correspondente a $1,0 \text{ m}^2$, com auxílio de uma pinça grande, sem tocá-las diretamente com as mãos para evitar contaminação (Figura 11a). Essas amostras simples foram colocadas sobre um plástico de $2,0 \text{ m} \times 2,0 \text{ m}$. A Figura 11b apresenta material da serapilheira colonizado por microrganismos.



FIGURA 11– Amostragem da serapilheira em Floresta Ombrófila Mista (a). Presença de microrganismos em serrapilheira (b).

As amostras simples foram misturadas e homogeneizadas para formar uma amostra composta. Em cada coleta, os recipientes (baldes) e as ferramentas utilizadas foram lavados com água e detergente, depois com álcool e flambadas, e os baldes de plástico enxaguados com água;

- cada amostra composta foi embalada num pacote de plástico, tipo ofício, empacotada, amarrada e identificada;
- a seguir, retirou-se o gelo de dentro da caixa de isopor, colocando-a em outra maior, também de isopor, onde foi colocado gelo entre elas. O material

coletado foi colocado dentro da caixa de isopor menor e mantido em lugar fresco e à sombra, até o momento de ser transportado ao laboratório;

- este mesmo procedimento foi aplicado para todas as amostragens referentes a serapilheira.

- **Zona de transição (serapilheira/solo) e solo**

As amostras foram obtidas no mesmo ponto onde foi coletada a amostra de serapilheira, conforme Figura 12.

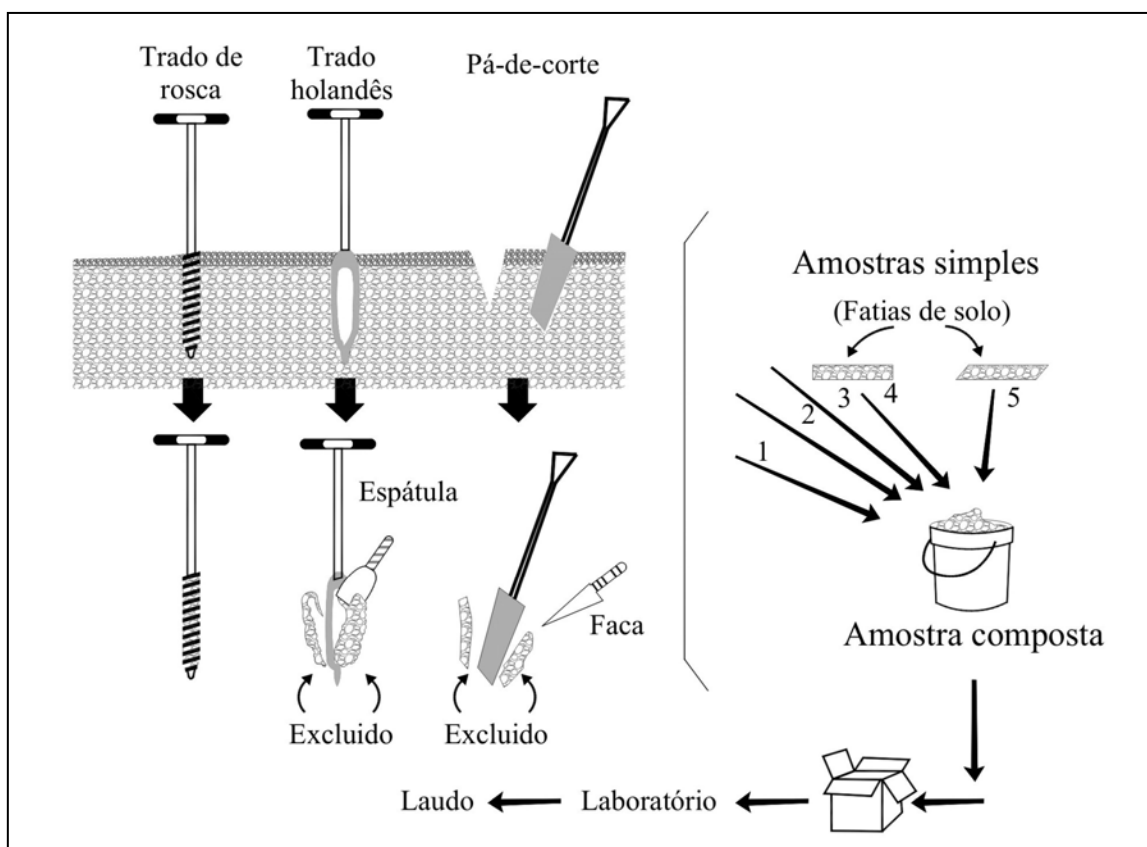


FIGURA 12 - Instrumentos e materiais utilizados na amostragem da zona de transição e do solo

Coletou-se cinco amostras simples, aleatoriamente, dentro da área correspondente a 100 m² (10 m x 10 m), utilizando-se um martelo pedológico, uma “pá cortadeira” com bordas de ponta arredondadas para facilitar sua entrada no perfil do solo, facão e canivete para cortar raízes, além de uma “pá de jardinagem” curta (Figura 13a) para auxiliar na coleta do material, tomando-se o cuidado de reutilizar as ferramentas após bem lavadas, secas e esterilizadas

com álcool e fogo. Em solos muito compactos foi utilizado o trado. A Figura 13b mostra a camada de solo coletada para determinação da umidade, fertilidade, microrganismos e biomassa microbiana.

Os procedimentos adotados para as coletas na zona de transição e no solo foram semelhantes aos aplicados para a serapilheira.



FIGURA 13 – Detalhe da amostragem da zona de transição (a) e solo (b) em Floresta Ombrófila Mista.

Ao terminar a coleta, as amostras foram transportadas imediatamente ao Laboratório de Microbiologia, Química, Nutrição Mineral de Plantas e de Solos da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, cada qual no seu devido setor de trabalho para processamento e determinação das análises laboratoriais, no Laboratório de Microbiologia para determinações de populações de celulolíticos e solubilizadores de fosfato e biomassa microbiana; no Laboratório de Solo, para a análise física (granulometria) e no Laboratório de Química, para análise química para fins de fertilidade do solo: pH, Al, H+Al, Ca, Mg, P, K, C. Além destes, foram encaminhadas ao mesmo laboratório, as amostras para a determinação da umidade dos substratos (materiais).

b) Povoamento florestal com *P. taeda*

A coleta das amostras da serapilheira, zona de transição e solo seguiu os mesmos procedimentos da Floresta Ombrófila Mista.



FIGURA 14 – Serapilheira em povoamento florestal com *P. taeda* (a) e início da camada de zona de transição (b).

Na Figura 14a pode-se observar que ocorreu o afundamento na serapilheira de pinus, decorrente do peso exercido pela pessoa no material depositado sobre o solo. Na Figura 14b identifica-se o início da camada relativa à zona de transição. A Figura 15 mostra as três camadas onde pode ser observada nitidamente a cor preta, caracterizando o solo (propriamente dito).



FIGURA 15 – Detalhe da amostragem do solo em povoamento florestal com *P. taeda*.

3.5.2 Preparo das Amostras para Análises Laboratoriais

Das amostras encaminhadas aos laboratórios foram retiradas as unidades amostrais para processamento das análises químicas para fins de fertilidade do solo, análises físicas (granulométrica) e microbiológicas (contagem populacional de microrganismos e biomassa microbiana).

▪ Análise de umidade, química e granulométrica

a) Determinação da umidade do solo

As determinações foram feitas com a "terra fina seca ao ar".

– Pesou-se 5 g de solo úmido passado por peneira de 2 mm de malha, em recipiente de peso conhecido e em balança analítica; foi levado à estufa durante 24 horas a 105° C; deixou-se esfriar em dessecador e pesou-se o recipiente com o solo seco.

Assim, calculou-se a umidade através da fórmula:

$$U(\%) = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100$$

Onde:

W_1 = peso do recipiente;

W_2 = peso do recipiente + solo

W_3 = peso do recipiente + solo seco

A umidade foi expressa em percentagem correspondente à massa de solo.

b) Análise química para fins de fertilidade

Baseado no complexo sortivo que corresponde às bases trocáveis de importância ao desenvolvimento do ecossistema florestal, além da acidez do solo (pH), da capacidade de troca catiônica e do alumínio, foram analisados o Ca + Mg, P disponível, K e C orgânico (matéria orgânica).

Os métodos laboratoriais empregados nas análises químicas de solos foram aqueles descritos no Manual de Métodos de Análise de Solos (IAPAR, 2000). As determinações correspondentes foram realizadas com o solo destorroado e moído, separando-se as frações do solo por tamização e homogeneização da fração < 2 mm, denominada “terra fina seca ao ar” (TFSA) para posterior análise laboratorial. A terra fina foi seca à 105° C. Outras informações referentes à análise estão apresentadas a seguir:

pH em CaCl_2 mol L^{-1} – determinados através da medição da concentração efetiva de íons H^+ na solução do solo eletronicamente, por meio de eletrodo combinado, imerso em suspensão solo-solução CaCl_2 0,01 M na proporção de 1:2,5 com tempo de contato não inferior a uma hora e agitação da suspensão antes da leitura. O aparelho utilizado foi o potenciômetro com eletrodo combinado.

Carbono orgânico – determinado através do método indireto da oxidação do carbono orgânico por via úmida, denominado método Walkley-Black da matéria orgânica, pelo método volumétrico utilizando-se o bicromato de potássio 0,4 Mol/L em meio sulfúrico e titulação pelo sulfato ferroso 0,1 mol L^{-1} .

Fósforo disponível – extraído com solução extratora de Mehlich, também denominada de solução duplo-ácida ou de Carolina do Norte. O fósforo extraído é determinado espectrofotometricamente, por meio da leitura da intensidade da cor do complexo fosfomolibdico, produzido pela redução do molibdato com o ácido ascórbico. Os equipamentos utilizados foram: agitador horizontal circular, balança analítica; estufa e espectrofotômetro ou colorímetro.

Cálcio e magnésio trocáveis – extraídos por meio da solução de KCl mol L^{-1} na proporção 1:20, juntamente com o Al^{3+} extraível e posteriormente, aproveitando a mesma alíquota, foram determinados Ca^{2+} e Mg^{2+} com solução de EDTA 0,0125 M. Os equipamentos utilizados foram: agitador horizontal circular, balança analítica e bureta.

Ca²⁺ - determinado, de forma isolada, com solução de EDTA 0,0125 M e o Mg²⁺ obtido por diferença.

Potássio trocável – extraídos com solução de HCl 0,05 mol L⁻¹ na proporção de 1:10 e determinados por fotometria de chama, que é um método direto.

Soma Bases – calculado pela fórmula:

$$SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K$$

Alumínio extraível – extraído com solução de KCl 0,05 mol L⁻¹ na proporção 1:20 e determinados, titulando-se a acidez com NaOH 0,025 mol L⁻¹ para a determinação.

Acidez extraível (H⁺ + Al³⁺) ou acidez potencial – a solução de extração foi o acetato de cálcio Mol L⁻¹ ajustada a pH 7,0 na proporção 1:15, determinada por titulação com solução de NaOH 0,0606 mol L⁻¹. Após a determinação do H⁺+Al³⁺ foi calculado o percentual no contexto do complexo sortivo, e que engloba a soma de bases (Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺), constituindo o índice T, denominado também de CTC a pH 7,0 (capacidade de troca catiônica), aplicando-se a seguinte fórmula.

$$CTC = SB + H + Al$$

V% – é a saturação de bases expresso em % e calculado pela fórmula:

$$V\% = \frac{SB}{T} \times 100$$

c) Análise granulométrica ou textural

A granulometria é uma análise física que imprime propriedades importantes como a reserva de água, aeração, drenagem, compactidade, infiltração da água, entre outras, tão importantes à sobrevivência dos

microrganismos do solo. Ela consiste em determinar qual a distribuição por tamanho das partículas dos diversos minerais existentes no solo, o que permite inseri-lo numa classe textural, classificando-o como: arenoso, argiloso e siltoso.

Para a caracterização física do solo, ou seja, granulométrica ou textural foram realizadas as seguintes determinações:

- Calhaus e cascalhos – separados por tamização, utilizando-se peneiras de malha de 20 mm e 2 mm respectivamente, para a retenção dos calhaus e dos cascalhos nesse fracionamento inicial da amostra total, previamente preparada através da secagem ao ar e destorroamento.
- Terra fina – separada por tamização no mesmo fracionamento comum à mesma determinação anterior, tomando-se o material mais fino peneirado em malha de 2 mm com furos circulares.
- Composição granulométrica – dispersão com calgon (hexametáfosfato de sódio 4,4%), em substituição ao NaOH como dispersante e agitação de alta rotação por quinze minutos.

A areia grossa e a areia fina foram separadas por tamização em peneiras de malha 0,2 mm e 0,053 mm respectivamente. Para a determinação da argila foi utilizado o "Método da Pipeta", e o silte obtido por diferença. Os valores das frações foram calculados da seguinte maneira:

$$\% \text{ de argila} = (\text{peso da argila} + \text{dispersante}) - \text{peso do dispersante} \times 100 \times f$$

onde:

$$f = \frac{MTFSA}{MTFSE}$$

MTFSA – massa de terra fina seca ao ar

MTFSE – massa de terra fina seca em estufa

% de areia fina = peso da areia fina x 5 x f

% de areia grossa = (peso da areia fina + peso da areia grossa) – peso da areia fina x f

% de silte = 100 - (% de argila + % de areia fina + % de areia grossa).

- **Análise laboratorial para contagem das UFC (unidades formadoras de colônias) de bactérias, fungos, actinomicetos, microrganismos celulolíticos e solubilizadores de fosfato.**

Para a análise laboratorial foram preparadas as amostras do material coletado a campo dos ecossistemas Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com *P. taeda*, nos três blocos; em cada bloco, cinco pontos de amostragem foram obtidos, nas profundidades: serapilheira, zona de transição e solo e, em duas estações do ano, verão e inverno, compondo um total de 180 unidades amostrais (2 ecossist. x 3 blocos x 5 pontos de amostrag. x 3 profundid.= 90 unidades amostrais x 2 períodos= 180 unidades amostrais).



FIGURA 16 – Materiais e equipamentos utilizados na análise laboratorial para contagem de microrganismos.

No laboratório, para cada unidade amostral coletada a campo, foi preparada uma solução, a partir da qual foram feitas três diluições (10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4}) com duas repetições. O preparo dos meios de cultura foi feito considerando a especificidade de cada microrganismo a ser determinado (Figura 16). A seguir foi realizada a incubação e, finalmente a contagem.

- Método de isolamento das populações microbianas

As avaliações da densidade populacional foram determinadas de acordo com o protocolo de análise para microrganismos do solo. A Figura 17 apresenta o procedimento adotado para plaqueamento dos microrganismos em meio de cultura.

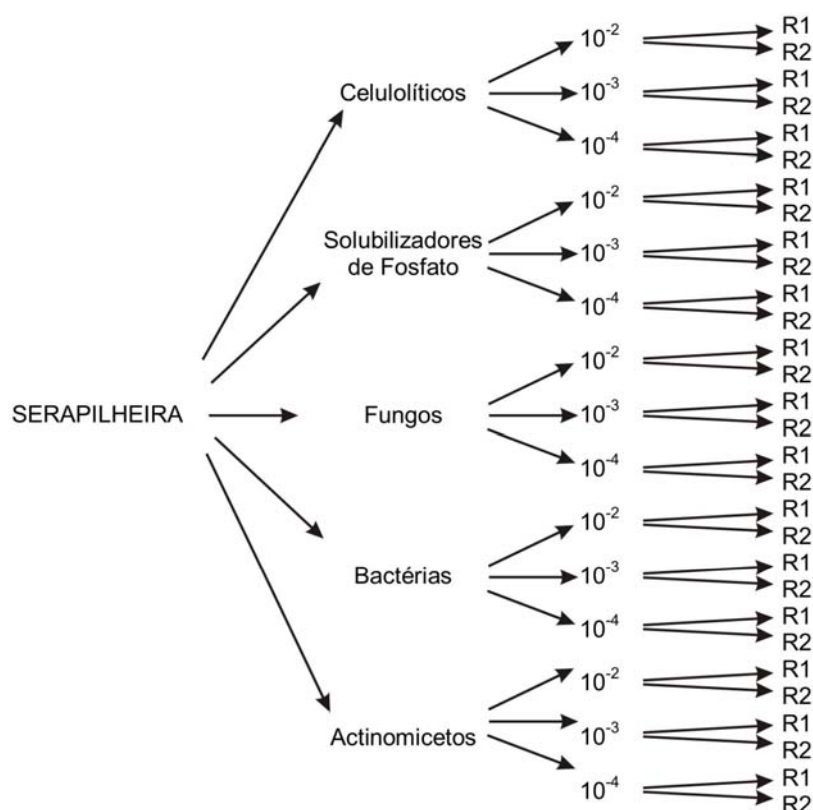


FIGURA 17 – Plaqueamento dos microrganismos em meio de cultura para contagem do número de unidades formadoras de colônias.

Para o substrato serapilheira tomou-se uma fração do material no qual foi colocada água destilada e esterilizada em recipiente tampado, para agitar a 200 rpm por 15 minutos. A seguir foram feitas diluições de 1 mL de solução para 9 mL de água destilada esterilizada. Desta solução procedeu-se as diluições decimais seriadas de 10^{-2} , 10^{-3} e 10^{-4} . O mesmo procedimento foi adotado para as demais profundidades.

Assim, foram 90 amostras de campo (serapilheira, zona de transição e solo) x 5 microrganismos x 3 diluições x 2 repet. (R_1, R_2) = 2.700 placas de petri para contagem, x 2 estações do ano.

A seguir, cada placa de Petri foi plaqueada com 0,1 mL (2 repetições), com as diluições correspondentes a cada grupo de microrganismos (celulolíticos, solubilizadores de fosfato, bactérias, actinomicetos e fungos).

Em sequência, espalhou-se o inóculo de forma uniforme na placa de Petri com a alça de Drigalski e incubou-se a 25° C, com as placas invertidas. Finalmente, procedeu-se a contagem das colônias após o período de incubação correspondente a cada grupo de microrganismos.

Quanto ao solo, as diluições decimais partiram de 10 g de solo úmido previamente pesado e quantificado a sua umidade. Em seguida, procedeu-se o peneiramento do solo em malha de 2 mm e transferido para recipientes contendo 90 mL de água destilada e esterilizada em frasco tampado. Os demais procedimentos seguiram os mesmos realizados com a solução obtida da serapilheira.

▪ **Meio de cultura e determinação de microrganismos**

Os meios de cultura foram elaborados de acordo com o microrganismo em estudo.

a) Microrganismos celulolíticos em meio nutritivo CAA: celulose-asparagina – ágar

O meio de cultura utilizado para os microrganismos celulolíticos da serapilheira, zona de transição e solo foi celulose-asparagina-ágar (PARKINSON; GRAY; WILLIAMS, 1971; VALARINI, 2000), tendo como diluições decimais: 10^{-2} , 10^{-3} e 10^{-4} . Após a autoclavagem, adicionou-se 5 mL L⁻¹ de solução de Triton X-100 a 10%.

Após a inoculação, foi incubado de 10 a 13 dias, sendo realizada a contagem das colônias que apresentavam um halo claro ao seu redor,

consequência da hidrólise da celulose, visto que sendo esta insolúvel, torna o meio branco e opaco.

Os reagentes utilizados na determinação dos microrganismos celulolíticos encontram-se na Tabela 2.

TABELA 2 – Composição do meio de cultura Celulose-Asparagina-Ágar (CAA) para determinação dos microrganismos celulolíticos.

Reagentes	Concentração
Sulfato de amônio	0,5 g
L-asparagina	0,5 g
Fosfato de potássio monobásico	1,0 g
Cloreto de potássio	0,5 g
Sulfato de magnésio	0,2 g
Cloreto de cálcio anidro	0,1 g
Extrato de levedura	0,5 g
*Celulose microcristalina	10,0 g
Ágar	20,0 g
Água destilada	1.000 mL

*Celulose microcristalina Avicel - Merck

b) Microrganismos solubilizadores de fosfato em meio nutritivo GES – extrato de solo – sais inorgânicos (SYLVESTER-BRADLEY, et al., 1982; VALARINI, 2000).

Para os microrganismos solubilizadores de fosfato, empregou-se as diluições 10^{-2} , 10^{-3} e 10^{-4} , e como meio de cultura glicose-extrato de solo. Procedeu-se à contagem com igual critério aplicado à de microrganismos celulolíticos, isto é, apenas as colônias que formam ao redor de si um halo transparente resultante da solubilização do fosfato inorgânico adicionado ao meio de cultura que é branco e opaco pela sua presença.

Os ingredientes foram dissolvidos separadamente com 50 mL de água desmineralizada para cada um. Os reagentes utilizados encontram-se na Tabela 3.

A solução de EDTA foi aquecida e misturada a solução de sulfato ferroso à quente, esfriado, armazenado em geladeira e retirado somente no momento em que foi utilizado.

TABELA 3 – Composição do meio de cultura GES – Extrato de solo – sais orgânicos para determinação dos microrganismos solubilizadores de fosfato.

Reagentes	Concentração
Fosfato tricálcico.....	15,0 g
Glicose.....	10,0 g
*Extrato de solo.....	100,0 mL
Sulfato de magnésio.....	0,2 g
Cloreto de cálcio anidro.....	0,02 g
Cloreto de sódio.....	0,1 g
Nitrato de Potássio.....	0,1 g
**Solução de micronutrientes.....	2,0 mL
***Fe-EDTA.....	4,0 mL
Ágar.....	16,0 g
Água destilada.....	900,0 mL
Volume final.....	1.000,0 mL

***Extrato de Solo:**

1 kg de solo florestal peneirado mais 1 (um) litro de água destilada

Autoclavado durante 30 (trinta) minutos

Filtrado e posteriormente completado o seu volume para 1000 mL

Ajustado o pH para 7,2

****Solução de micronutrientes:**

Molibdato de cálcio.....	0,2 g
Sulfato de manganês.....	0,235 g
Ácido bórico.....	0,28 g
Sulfato cúprico.....	0,08 g
Sulfato de zinco.....	0,024 g
Água destilada.....	200,0 mL

***** Fe-EDTA:**

Sulfato ferroso.....	0,11 g
EDTA.....	0,14 g
Água destilada.....	100,0 mL

A contagem seguiu o mesmo procedimento efetuado com os microrganismos celulolíticos, ou seja, selecionando-se as diluições que fornecessem valores até 250 UFC placa⁻¹.

c) Actinomicetos em meio de cultura CDA – Caseinato-Dextrose-Ágar

Procedeu-se um choque térmico a 50° C para eliminar uma parte das bactérias. Apesar disso, como sempre crescem algumas colônias, diferenciou-se os actinomicetos pelas características de suas colônias que são compactas, sem brilho e cheiro de “terra”.

A contagem do número de unidades formadoras de colônias de actinomicetos ocorreu de 7 a 10 dias, selecionando-se as diluições que fornecessem valores até 250 UFC placa⁻¹.

Nesta avaliação foram utilizadas as diluições decimais 10⁻², 10⁻³ e 10⁻⁴, em meio de cultura caseinato-dextrose-ágar, e a contagem da população foi feita entre o 7º e o 10º dias de incubação, tanto para o verão, como para o inverno. O meio de cultura utilizada foi o caseinato-dextrose-ágar (CLARK, 1965b), conforme Tabela 4.

O pH foi ajustado para pH 6,5 com HCl diluído previamente à adição do ágar.

TABELA 4 – Composição do meio de cultura CDA – Caseinato-Dextrose-Ágar para determinação de actinomicetos

Reagentes	Concentração
Glicose.....	2,0 g
*Caseína.....	0,2g
K ₂ HPO ₄	0,5 g
MgSO ₄ .7H ₂ O.....	0,2 g
FéCl ₃	traços
Ágar.....	15,0 g
Água destilada.....	1000,0 mL

* A caseína foi dissolvida previamente em 10 mL de NaOH 0,1 N.

d) Bactérias em meio de cultura de Thorton

Para o cultivo de populações bacterianas, foram utilizadas as diluições 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴, inoculando-se 0,1 mL da suspensão por diluição na superfície de três placas de Petri, contendo o meio de cultura de Thorton (1922). Distribuiu-se o

inóculo com a alça de Drigalski de forma uniforme em toda placa de Petri e, logo em seguida, incubou-se à temperatura ambiente em posição invertida, por um período de 5 – 8 dias para os substratos relativos ao verão e inverno, quando então, foram feitas contagens, selecionando-se diluições que fornecessem valores até 250 UFC (unidade formadora de colônia)/placa. Os reagentes utilizados para o meio de cultura de Thorton podem ser observados na Tabela 5.

TABELA 5 – Composição do meio de cultura de Thorton para determinação de bactérias.

Reagentes	Concentração
K ₂ HPO ₄	1,0 g
MgSO ₄	0,2g
CaCl ₂	0,1g
NaCl.....	0,1g
FeCl ₃	traços
KNO ₃	0,5 g
Asparagina.....	0,5 g
Manitol.....	1,0 g
Ágar.....	15,0 g
Água destilada.....	1000,0 mL

e) Fungos em meio de cultura de Martin

Para as populações de fungos foram utilizadas as diluições 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , e o meio de cultura empregado foi o de Martin (MENZIES, 1965).

Para a contagem dos fungos foram utilizadas as diluições 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} . Após um período de incubação de 4 a 8 dias no verão e 5 a 9 dias no inverno realizou-se a contagem do número de unidades formadoras de colônias de fungos (UFC), seguindo-se os mesmos procedimentos utilizados para a contagem de bactérias e actinomicetos. Foram, ainda, selecionadas as diluições que fornecessem valores até 250 UFC/placa. A composição do meio de cultura utilizado encontra-se descrito na Tabela 6.

TABELA 6 – Composição do meio de cultura de Martin para determinação de fungos.

Reagentes	Concentração
K ₂ HPO ₄	1,0 g
MgSO ₄ 7H ₂ O.....	0,5g
Peptona.....	5,0g
Glicose.....	10,0g
*Rosa Bengala.....	0,06g
Ágar.....	15,0 g
Água destilada.....	1000,0 mL

*A Rosa de bengala foi dissolvida em 10 mL de água destilada antes de ser adicionada ao meio.

▪ **Avaliação e cálculos utilizados na determinação de microrganismos celulolíticos, solubilizadores de fosfato, fungos e actinomicetos**

O número de microrganismos é expresso em UFC (unidades formadoras de colônias) por grama de material (serapilheira, zona de transição ou solo). Assim, foi multiplicado a média das repetições do número de colônias por placa por 10, porque numa placa tem-se o número correspondente a 0,1 mL. Dessa forma tem-se o número de microrganismos por mL da diluição plaqueada. A seguir multiplicou-se pela diluição. Por exemplo:

Média = 100 colônias (placas com 0,1 mL da diluição 10⁻³), então:

$100 \times 10 = 1000 \text{ UFC mL}^{-1} \times 10^3 = 1 \times 10^6 \text{ UFC g}^{-1}$ de solo, zona de transição ou serapilheira.

f) **Biomassa microbiana em carbono: Método de fumigação-extração.**

Sabe-se que a avaliação da biomassa microbiana é útil na obtenção de informações rápidas referentes às mudanças nas propriedades orgânicas do solo. Por outro lado, pode-se dizer que ela varia consideravelmente em termos temporais e distribuições espaciais, devido a fatores abióticos e bióticos.

Protocolo de análise - Método de fumigação-extração (DE POLLI; GAMA-RODRIGUES; GUERRA, 2005; FRIGHUETTO, 2000).

Esta metodologia analisa a biomassa microbiana extraível em solução aquosa de sulfato de potássio a 0,5 molar.

Reagentes utilizados:

- Clorofórmio P.A.
- Sulfato de potássio P.A (K_2SO_4) a 0,5 molar
- Dicromato de potássio P.A. ($K_2Cr_2O_2$) a 0,0667 molar
- Ácido sulfúrico P.A. a 0,4 molar
- Sulfato ferroso amoniacal hexahidratado $[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \times 6H_2O]$ a 0,0333 Molar
- Ácido fosfórico P.A., concentrado
- Difenilamina pura 1%
- Sulfato ferroso heptahidratado.

▪ Procedimento com as subamostras dos diferentes materiais

A partir das amostras dos substratos serapilheira, zona de transição e solo, utilizadas para contagens das populações microbianas, foi realizada a determinação da biomassa microbiana.

No dia seguinte à contagem microbiana, retirou-se uma subamostra de 100 g de serapilheira e de solo corrigido para 80 % da capacidade de campo. As amostras foram então subdivididas em seis partes:

a) Três subamostras para esterilização por fumigação com clorofórmio:

- em cada substrato foi colocado 1 mL de clorofórmio direto na amostra (20g de substrato) em frasco de 100 mL de boca larga com tampa plástica.

b) Três subamostras para extração com sulfato de potássio 0,5 M com pH 6,5 – 6,8 (corrigido com NaOH):

- foi colocado 50 mL de sulfato de potássio;
- agitado por trinta minutos a 200 – 220 rpm (rotação por minuto), sem tampar o frasco;
- colocou-se o material em repouso durante trinta minutos;
- filtrou-se em papel de filtro de velocidade média de filtração de 140 segundos - marca framex – que é um papel de filtro quantitativo, faixa preta de 15 cm de diâmetro. Ele foi filtrado devido as partículas minerais do solo que atrapalham a visualização do ponto de viragem;

- Recolhido 8 mL do extrato filtrado em erlenmeyer de 250 mL, tampado com placas de vidro;
- Colocou-se 2 mL de dicromato de potássio a 0,066 M (para preparar esta solução o dicromato de potássio foi secado a 100 – 105° C por 60 minutos);
- Adicionou-se 10 mL de H₂SO₄ concentrado;
- Adicionou-se 1,0 mL 2,0 mL de ácido fosfórico concentrado;
- Colocou-se na placa aquecedora (bloco digestor) os recipientes de erlenmeyers para fervura branda durante 7 minutos (5 minutos a partir do início da evaporação). Em cima do erlenmeyer foi colocado um condensador (bola de gude grande para criança) para evitar a saída do CO₂ formado;
- Após retirar da placa aquecedora o material, lavou-se as paredes do condensador com água destilada e deixou-o em repouso para esfriar;
- A seguir foi completado com 100 mL de água destilada;
- Titulou-se com sulfato ferroso amoniacal a 0,033 N padronizado com solução em branco (tudo menos a amostra).

▪ **Procedimento para análise do branco:**

- O branco foi feito um para cada 10 amostras;
- 8 mL da solução extratora (sulfato de potássio);
- 2 mL de dicromato de potássio
- 10 mL de ácido sulfúrico
- 2,0 mL de ácido fosfórico

Os procedimentos seguiram os mesmos passos da determinação da amostra.

- O indicador foi o difenilamina pura 1% em solução ácida de H₂SO₄ concentrado. Foram utilizadas três gotas por amostra. O ponto de viragem foi da cor marrom caramelo para azul verde.

▪ **Procedimento para amostras fumigadas**

Amostras fumigadas:

- Após 24 horas de fumigação, foram destampados os frascos em capela de exaustão, deixando-os abertos durante uma noite para retirar os vapores de clorofórmio até que não houvesse mais cheiro.

Cálculos:

$$C(\text{mg/kg}) = \frac{(B-T).N.0,003.50.10}{P.8}$$

onde:

B = volume gasto na titulação da amostra

T = volume gasto na titulação do branco

N = normalidade do sulfato ferroso amoniacal

0,003: meq. do carbono

50: volume utilizado na extração

10⁶: conversão para g

P: peso seco da amostra

8: alíquota utilizada na leitura

O cálculo foi feito independente para as amostras fumigadas e não fumigadas. Também foi utilizada a média de três leituras.

Cálculo final

$$B(\text{mg/kg}) = \frac{NF - F}{0,33}$$

onde:

NF: mg de C kg⁻¹ de material seco da amostra não fumigada

F: mg de C kg⁻¹ de material seco da amostra fumigada

0,33: fator de correção Kc

B: biomassa microbiana (mg de C kg⁻¹ de material seco)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O SOLO EM PERSPECTIVA

Antes da apresentação e discussão dos resultados, será apresentado o sistema solo de forma sucinta com suas variáveis explicativas como pontos de referência deste trabalho. Fato importante para tornar mais claro o conhecimento dos fatores e das potencialidades que atuam na dinâmica da população de microrganismos, é a sua influência sobre o meio em que vive e da qual depende de suas propriedades químicas e físicas.

No presente trabalho, relativo a questão microbiana do solo, foi fundamental considerar inicialmente o ambiente onde os microrganismos se desenvolvem e se multiplicam e de que forma e de que substâncias se alimentam.

Assim, pode-se dizer que, cobrindo o leito da rocha matriz, há uma capa não consolidada, variável em profundidade vertical e horizontal, quanto às condições físicas e químicas, de origens geológicas diversas, denominadas regolito. Se essa capa é exposta ao intemperismo (chuva, vento e sol) ocorrem hidrólises, hidratações, oxidações e solubilizações. Fragmentada a rocha, entra em ação o trabalho dos microrganismos, sobretudo decompositores, iniciando-se, assim, a formação da matéria orgânica na sua verdadeira concepção biológica e, conseqüentemente, de solo verdadeiro. Portanto, o solo é a parte superior do regolito climatizada e biologicamente trabalhada. No entanto, é imprescindível destacar a ação da serapilheira decomposta, também, como formadora do solo.

A verticalização da serapilheira revela a existência de camadas mais ou menos distintas em estrutura e textura, de acordo com a profundidade. No solo essa verticalização é denominada horizonte e o conjunto é denominado perfil do solo. Os perfis diferem de acordo com o tipo e espécie de solo e, mesmo entre tipos de solos e serapilheiras iguais, clima entre outros, variam em espessura de camadas, constituição e composição química, aeração, textura e em retenção de água, resultando na variação da umidade e atividade da população microbiana.

A atenção deste trabalho, também ficou dirigida segundo a profundidade para as camadas superficiais (serapilheira) e subsuperficiais (transição de serapilheira para solo) e, finalmente, da camada de solo, devido a abundância de raízes; macro, meso e microfauna; maior suprimento de nutrientes e onde os efeitos diretos, benéficos ou prejudiciais à vegetação são agentes que originam e constituem o solo.

Considerou-se ainda, a fase sólida do solo: areia, silte e argila, por serem importantes componentes na interação com os microrganismos, pois a interação entre superfícies de colóides e microrganismos afeta aspectos fundamentais da ecologia microbiana, como a sobrevivência e sucessão, além de sua atividade.

O estudo contemplou também a acidez do solo (pH), por exercer influência marcante no desenvolvimento de microrganismos, no teor de matéria orgânica, nas reações químicas que ocorrem no solo e na disponibilidade dos elementos minerais.

As estações do ano verão e inverno também fizeram parte das variáveis explicativas com seus componentes de umidade e temperatura, pois influem no caminhar do processo de intemperismo e degradação da matéria orgânica e, com isso, ampliam o entendimento sobre a magnitude das influências estacionais, porque deixa claro que existe uma velocidade diferenciada para a atuação dos microrganismos na serapilheira e no solo, de conformidade com o calor ou frio. A água (umidade) do solo, que está em processo dinâmico de solubilização de substâncias inorgânicas e orgânicas, foi destaque no trabalho como um dos elementos do clima, responsável pela influência significativa no transporte das substâncias em solução e em estado coloidal para as zonas profundas, desde a serapilheira até o solo. Além disso, é importante também como nutriente aos seres vivos.

Outro aspecto ao se incluir o estudo de estações, relacionou-se à ação das condições climáticas sobre as populações de microrganismos. Dessa forma, tentou-se pesquisar a serapilheira, a zona de transição e o solo como ferramenta de trabalho na sustentabilidade de diferentes ecossistemas.

4.1 EFEITO DOS ECOSISTEMAS FLORESTA OMBRÓFILA MISTA E POVOAMENTO FLORESTAL COM *P. taeda* SOBRE A VARIÁVEL UMIDADE

O teste de homogeneidade aplicado para as variáveis dependentes foi o de Hartley e o de Tukey para comparação de médias.

Foi estudada a distribuição espacial da umidade nos blocos e profundidades (serapilheira, zona de transição e solo), em duas estações do ano – verão e inverno – e o efeito dos ecossistemas sobre o teor de umidade.

Floresta Ombrófila Mista

Através das condições diferenciadas dos ambientes estudados, decorrentes do tipo de solo e declividade, foi possível observar uma diferença estatisticamente significativa ao nível de 95% de probabilidade entre os blocos, demonstrando as diferentes respostas entre eles. Não foram observadas interações entre profundidade e estação. A Tabela 7 apresenta as médias do teor de umidade em três blocos, três profundidades e duas estações.

TABELA 7 – Teor médio de umidade (%) em três blocos, três profundidades e duas estações do ano, em Floresta Ombrófila Mista, Tijucas do Sul, PR.

Ecossistema	Bloco	Estação	Profundidade			média blocos
			serapilheira	Zona de transição	Solo	
Floresta Ombrófila Mista	1	Inverno	101,58	104,63	25,79	75,67 b
		Verão	73,17	73,46	75,39	
	2	Inverno	167,29	101,58	37,92	129,05 a
		Verão	125,43	180,60	161,50	
	3	Inverno	39,83	44,98	26,93	71,13 b
		Verão	115,87	92,10	107,03	
Média profundidade			103,86 A	99,55 A	72,42 A	

*médias seguidas pela mesma letra não apresentaram diferenças estatísticas ao nível de 95% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Os teores de umidade verificados nos blocos 1, 2 e 3 foram 75,67%, 129,05% e 71,13%, respectivamente. Também pode-se observar que os menores valores são dos blocos 1 e 3.

No bloco 3, localizado na parte mais alta da área e que teve o teor de umidade mais baixo, observou-se que a profundidade do solo era pequena, com afloramento de rochas e menor densidade e altura vegetal de espécies que àquelas pertencentes aos blocos da toposequência 2 e 1. A pequena profundidade do solo pode ser um dos fatores responsáveis pelo baixo teor de umidade no local estudado. Tudo indica que a capacidade de infiltração, que é uma propriedade do solo, e a taxa de infiltração, que se refere à taxa na qual está entrando no solo em um dado momento influi na umidade. No bloco 3, onde o solo é do tipo Neossolo Litólico, presume-se que a capacidade e a taxa de infiltração são baixas, favorecendo o escoamento superficial.

De acordo com Afubra (2008) e Veiga et al. (1994), a declividade ou a influência da gravidade, influencia tanto no escoamento superficial, como no subsolo, que são efetivados em direção a cotas mais baixas, resultando na transferência da água para outras áreas. Observou-se que entre os blocos, o 3 apresentava menor densidade vegetal, em função da maior entrada de luz, menor diâmetro de tronco e menor porte da vegetação, o que resulta em maior perda de água pela evaporação. O bloco 1, que apresentou teor de umidade de 75,67%, localiza-se na parte mais baixa e plana ao lado de um lago, e encontra-se sujeita à influência do lençol freático e das áreas de maior declive. Porém, deve-se considerar que o período anterior à coleta apresentou um longo período de estiagem, sendo possível o rebaixamento do lençol freático. Outro fator que poderia ser considerado no bloco 1 é que o solo é de textura média o que favorece a percolação da água no perfil, enquanto que os blocos 2 e 3 apresentam textura argilosa.

Não foram observadas diferenças entre as profundidades estudadas, que apresentaram 103,86%, 99,55% e 72,42% de umidade para a serapilheira, zona de transição e solo, respectivamente.

Observou-se maior teor de umidade no verão com 111,61%, diferindo ao nível de 95% do período de inverno, que apresentou 72,28%, resultado este corroborado pela maior quantidade de chuvas ocorridas no verão.

Na Figura 18 estão apresentados os teores de umidade na Floresta Ombrófila Mista em três profundidades e duas estações.

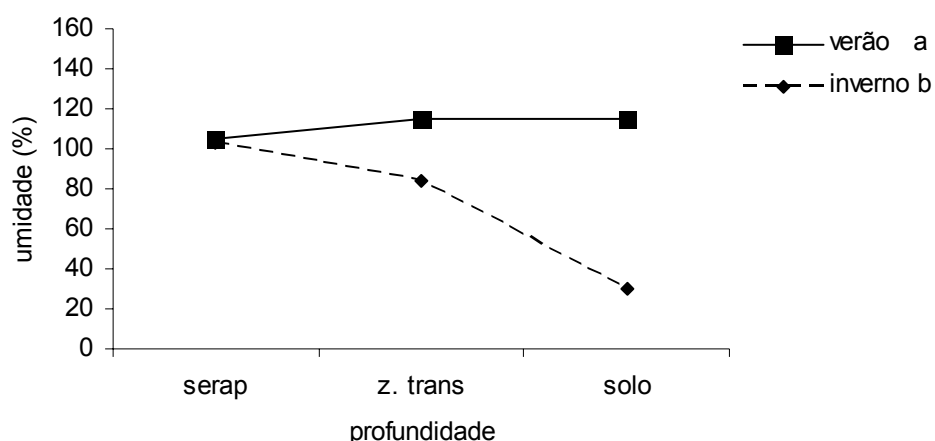


FIGURA 18 – Teor médio de umidade em Floresta Ombrófila Mista, em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo), em duas estações do ano (inverno e verão) em Tijucas do Sul/PR.

Povoamento florestal com *P. taeda*

A Tabela 8 apresenta as médias do teor de umidade para os três blocos, duas estações e três profundidades estudadas no povoamento florestal com *P. taeda*.

TABELA 8 – Teor médio de umidade (%) em três blocos, três profundidades e duas estações do ano, em povoamento florestal com *P. taeda*, Tijucas do Sul, PR.

Ecosistema	Bloco	Estação	Profundidade			média blocos
			serapilheira	Zona de transição	Solo	
Povoamento Florestal com <i>P. taeda</i>	1	Inverno	75,49	74,61	37,92	88,90 a
		Verão	126,79	137,14	81,50	
	2	Inverno	122,52	124,15	38,67	99,24 a
		Verão	157,77	112,12	40,22	
	3	Inverno	88,25	127,00	31,86	95,33 a
		Verão	134,49	97,52	92,86	
Média profundidade			110,00 A	112,09 A	53,83 B	

*médias seguidas pela mesma letra não apresentaram diferenças estatísticas ao nível de 95% de probabilidade

Os resultados não apresentaram, por meio da análise de variância, diferença estatisticamente significativa ao nível de 95% de probabilidade entre os blocos (88,90%; 99,24% e 95,33%), demonstrando a homogeneidade entre os

blocos, além de não terem sido verificadas interações entre estação e profundidade. Isto mostra que a umidade se distribuiu uniformemente em todos os blocos. De acordo com Veiga e Amado (1994), a presença de cobertura morta no solo aumenta a infiltração da água, reduz o escoamento, decresce a evaporação e altera a característica de retenção da umidade. Como a região em estudo localiza-se em área plana, tipo de solo igual para todos os blocos instalados, apresentando ainda cobertura do solo e a sua maior espessura com maior homogeneidade, pode-se observar que existe um controle maior na variação da umidade.

Foram observadas diferenças significativas entre as profundidades, sendo que o solo apresentou o menor teor de umidade 53,83%, diferindo da serapilheira e zona de transição que apresentaram 110,00% e 112,09%. A área de pinus tem aproximadamente 25 anos e não esteve sujeita a qualquer tipo de manejo no solo. Portanto, a fauna edáfica e o sistema radicular das plantas que se desenvolveram neste período estabeleceram uma dinâmica própria, favorecendo o transporte de água entre a serapilheira e a zona de transição. Entretanto, devido a camada espessa e pouco densa da serapilheira de pinus e aos espaços que se formam entre as acículas depositadas sobre a superfície, sugere que o escoamento superficial da água no solo tenha sido favorecido. Além disso, o teor de areia observado no solo foi superior, o que permitiria maior percolação e menor retenção de água nesta camada.

Na Figura 19 são apresentados os teores de umidade nas três profundidades, para o verão e inverno. No período de inverno é possível observar o menor teor de umidade para o solo. Os resultados obtidos mostram a ausência de diferença significativa entre as estações estudadas, devendo-se considerar que a chuva nem sempre atinge o solo em função de fatores como precipitação efetiva, interna e escoamento tronco.

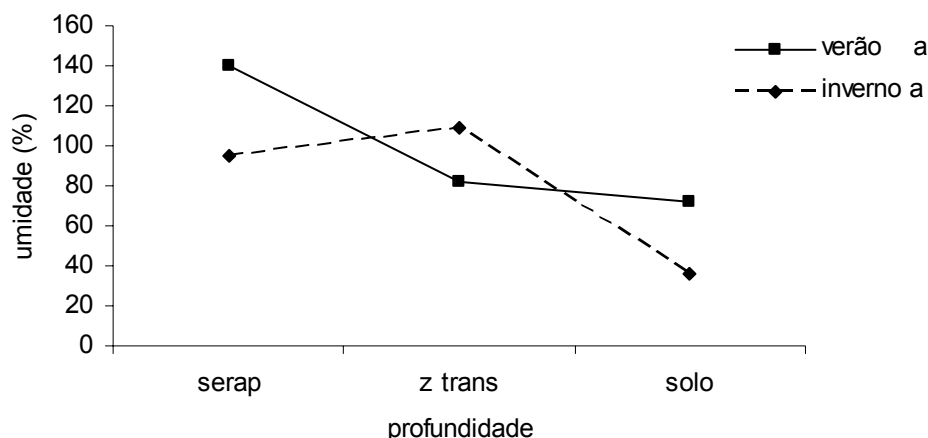


FIGURA 19 – Teor médio de umidade (%) em povoamento florestal com *P. taeda* em três blocos, nas duas estações e em três profundidades, Tijucas do Sul/PR.

Oliveira Jr. e Dias (2005) sugerem que o aumento da densidade da floresta promove a redução da precipitação interna e o aumento do escoamento pelo tronco e, que em meses com menor precipitação direta no solo, apresentam, também, a menor precipitação efetiva, visto que a precipitação efetiva (PE) é a quantidade de água que atinge o solo e é composta pela precipitação interna e pelo escoamento pelo tronco (LIMA, 1975). A chuva que atinge o piso florestal, incluindo as gotas que passam diretamente pelas aberturas entre as copas e aquelas que respingam do dossel é definida como precipitação interna. O escoamento tronco é formado pela chuva que é retida temporariamente pelas copas e aquela que atinge diretamente o tronco, chegando ao solo (ARCOVA; CICCO; ROCHA, 2003).

Os fatores que influenciam na precipitação efetiva são: a diversidade de espécies, idade das plantas, diâmetro à altura do peito, tipo, tamanho e forma das folhas, arquitetura e forma da copa (OLIVEIRA JR.; DIAS, 2005). Assim pode-se esperar que a quantidade de água que atinge o solo em dois diferentes ecossistemas, em uma mesma condição climática, pode ser diferente, como observado no presente trabalho.

As acículas e os cones de pinus são classificadas como de difícil decomposição quando comparada a folhas e raízes de folhosas, especialmente

leguminosas. Em relação à velocidade, é de lenta decomposição, enquanto que folhas de timbaúva, angico e acácia são de rápida decomposição, folhas de canela, açoita-cavalo, louro, caroba e cabreúva apresentam boa velocidade (AFUBRA, 2008). Essa difícil e lenta decomposição da serapilheira de acículas resulta na formação de espessa manta na superfície do solo florestal, que pode funcionar como uma barreira para perdas de água. Por outro lado, o escoamento superficial na floresta de coníferas é ligeiramente maior do que na floresta de folhosas, embora ocorra a formação de uma manta hidrofóbica nas coníferas. Todos esses fatores podem ter influenciado no controle da variação da umidade para esta espécie de pinus.

Comparação entre ecossistemas

Enquanto na Floresta Ombrófila Mista o verão apresentou maior teor de umidade, no povoamento florestal com pinus não foram observadas diferenças entre as estações que apresentaram teor de umidade de 108,93% no verão e 80,05% no inverno.

Foi realizado o teste *t* de Student para comparar as médias encontradas na Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com pinus, em que se concluiu que essas não foram estatisticamente diferentes, ao nível de 95% de probabilidade, no inverno (72,28% e 80,05%, respectivamente) e verão (111,61% e 108,93%, respectivamente).

As médias do teor de umidade nos diferentes ecossistemas embora não diferentes estatisticamente, mostram que para o povoamento florestal com pinus, a variação entre o inverno e o verão foi menor do que a observada para a Floresta Ombrófila Mista (Figura 20).

Em geral, o teor de água no solo é expresso como a percentagem do peso de água em relação ao peso do solo seco a 105°C (COSTA, 1985). No presente estudo deve-se considerar que a determinação da umidade não considerou a diferença de densidade entre os estratos estudados, observando-se teores de umidade acima de 100%.

Sugere-se que em determinações futuras do teor de água sejam feitas considerações sobre a densidade aparente do solo ou do material que se deseja estudar.

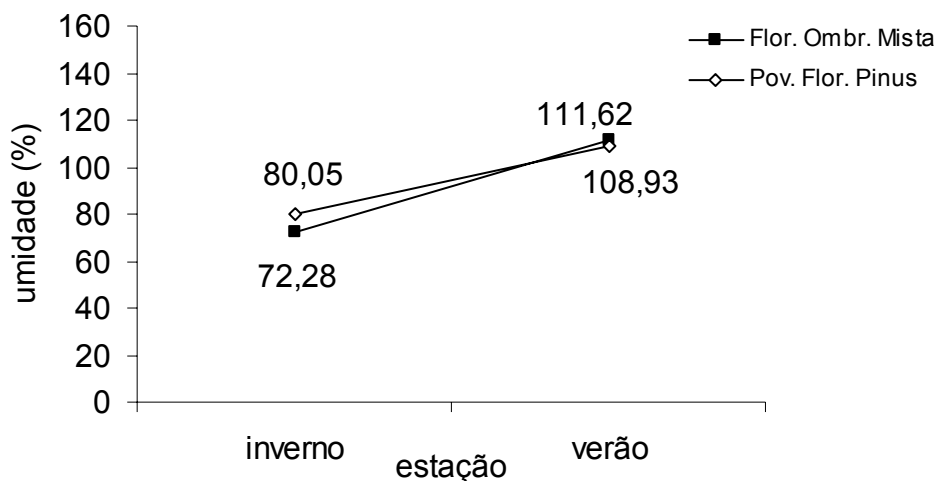


FIGURA 20 – Teor médio de umidade nas estações de inverno e verão, para Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com *P. taeda*, em duas estações, Tijucas do Sul/PR.

- **Síntese dos resultado da variável umidade**

Floresta Ombrófila Mista

> no verão

> umidade no Bloco 2 (encosta)

serapilheira = zona de transição = solo

Povoamento florestal com *P. taeda*

verão = inverno

Bloco 1 = Bloco 2 = Bloco 3

> umidade serapilheira e zona de transição

4.2 CONDIÇÃO NUTRICIONAL DA SERAPILHEIRA – FLORESTA OMBRÓFILA MISTA E POVOAMENTO FLORESTAL COM *P. taeda*.

A comparação das médias dos teores de nutrientes da serapilheira foi realizada por meio da análise de variância, quando suas variâncias resultavam homogêneas. Adicionalmente, quando as médias nos blocos mostravam-se diferentes estatisticamente, foi aplicado o Teste de Tukey para compará-las.

Foram realizadas análises de variância do Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , N e P, com os fatores blocos para a Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com *P. taeda*. Na Tabela 9 estão apresentadas as médias de Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}), Potássio (K^+), Nitrogênio (N) e Fósforo (P) obtidas no presente experimento.

TABELA 9 – Teores médios de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , N e P sob o fator bloco para os ecossistemas Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com *P. taeda*, Tijucas do Sul/PR.

Ecossistema	Bloco	Ca %	Mg %	N %	P %	K %
Floresta Ombrófila Mista	1	0,81 a	0,71 a	1,76 a	0,19 a	0,24 a
	2	0,68 b	0,70 a	1,92 a	0,16 a	0,18 a
	3	0,95 a	0,75 a	1,81 a	0,12 a	0,18 a
Povoamento florestal com <i>Pinus taeda</i>	1	0,08 c	0,21 b	1,27 a	0,17 a	0,10 a
	2	0,54 a	0,42 a	1,57 a	0,21 a	0,17 a
	3	0,31 b	0,31 ab	1,22 a	0,17 a	0,14 a

*médias seguidas pela mesma letra não apresentaram diferenças estatísticas ao nível de 95% de probabilidade

4.2.1 Cálcio

Floresta Ombrófila Mista

Os resultados mostram que os blocos 3 e 1 não diferiram entre si e apresentaram os maiores teores de Ca na serapilheira, com 0,95 e 0,81%, respectivamente, enquanto que para o bloco 2 verificou-se 0,68%.

É fundamental considerar inúmeros fatores no comportamento de absorção desse elemento, período e idade, se jovens, maduras ou senescentes,

em relação a permanência do elemento na planta, decorrente de condições fisiográficas e climáticas do local. São fatores que devem também ser considerados com outros elementos nutricionais para poder observar se induzem ou não em absorver mais o cálcio.

De acordo com Jorge (1983), o cálcio pode apresentar baixa mobilidade no solo, quando na forma inativa (carbonatos) e, muito pouca na planta, por ocorrer em geral em formas insolúveis em água (OSAKI, 2005). Grande parte do cálcio encontra-se nas folhas sendo que as mais velhas apresentam sempre conteúdos maiores (GALETI, 1983), confirmando o resultado obtido neste trabalho em que o maior teor foi encontrado na serapilheira.

Outra razão é o que pode ocorrer no floema, pois nele é praticamente imóvel, conseqüentemente, quando há falta desse elemento, certas partes da planta são afetadas. Como a demanda de cálcio é elevada e este elemento tende a permanecer nesses tecidos após o desenvolvimento, não é deslocado em quantidade de suficiência, para regiões mais jovens que estão em fase de ativo desenvolvimento, provocando a deficiência. Nessas condições, as regiões de crescimento como as regiões meristemáticas, gemas, pontas de raízes e folhas jovens são as primeiras a serem afetadas ou mortas (secamento dos ramos) e, em flores e frutos pode ocorrer a podridão apical, resultando na carência que ocorre mais cedo e mais severamente (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Quanto ao teor de cálcio no bloco 3, localizado no “topo”, é influenciado pela sua disponibilidade no solo, que por tratar-se de um Neossolo pouco intemperizado apresenta menor disponibilidade de Ca^{2+} , gerando a deficiência na planta a qual resulta na perda de folhas e galhos que retornam ao meio, mais especificamente na serapilheira, para nova decomposição pelos microrganismos do solo, mantendo o ciclo biogeoquímico e a sustentabilidade da vegetação. Além da perda das partes jovens, deve-se considerar ainda, a senescência natural de folhas e galhos velhos, que teriam maior teor de Ca^{2+} , contribuindo para o elevado teor na serapilheira.

O resultado obtido para o bloco 1 não diferiu estatisticamente do bloco 3. No bloco 1, considerando-se o relevo suavemente ondulado (0 – 3% de declividade) e sua condição aluvial, ou de deposição de material, o elevado teor

de cálcio pode ser resultante do transporte e deposição deste elemento na parte mais plana da área em estudo.

No bloco 2, com relevo variando de 12 a 18%, são encontrados solos de maior profundidade e maior grau de intemperização da rocha mãe. Os aspectos que devem ser considerados são: transporte do cálcio disponibilizado na serapilheira pelos microrganismos, pelo processo de erosão hídrica proveniente do topo e a maior disponibilidade de cálcio no solo. A maior disponibilidade de cálcio no solo, neste bloco resultaria em plantas mais bem nutridas, o que reduziria as perdas de folhas e galhos e, portanto, menor entrada de material na serapilheira.

Os resultados obtidos neste trabalho são semelhantes aos obtidos por Borém e Ramos (2002), que estudaram os teores de Ca^{2+} em Mata Atlântica em duas toposequências, verificando maior concentração de Ca^{2+} na serapilheira da toposequência muito alterada, sugerindo que este resultado se deve à dinâmica florestal mais intensa do que a vegetação próxima ao clímax.

Povoamento florestal com *P. taeda*.

O bloco 2 apresentou o maior teor de cálcio com 0,53%, diferindo estatisticamente ao nível de 99% dos blocos 3 e 1 que apresentaram 0,31% e 0,08% respectivamente, diferindo entre si. Os valores de suficiência no tecido foliar varia de 0,3 a 0,5% (MALAVOLTA, 1987; LOPES; COELHO, 1988; RAIJ et al., 1997)

A diferença verificada na análise de variância pode ser visualizada na Tabela 9. O manejo do pinus pode influenciar a decomposição da serapilheira, como por exemplo, nas populações mais jovens, nas quais a desrama e o desbaste não são realizados, o dossel da floresta protege a serapilheira da incidência dos raios solares e favorece o desenvolvimento de um ambiente mais úmido, que estimula a decomposição. Por outro lado, em populações mais velhas, ocorre a desrama e mortalidade natural das árvores plantadas, permitindo, assim, maior entrada de luz sobre a serapilheira e o solo, alterando o microclima e, inclusive, permitindo a regeneração natural de outras espécies vegetais. A presença de resíduos orgânicos de folhas de espécies arbóreas

nativas, de gramíneas e fabáceas pode influenciar a decomposição das acículas, resultante da maior diversidade de material depositado sobre o solo e maior atividade microbiana do solo (THOMAS, 1968; PRESCOTT *et al.*, 2000; MORRISON, 2003).

Neste estudo, a população do pinus que tem 25 anos de idade, pode apresentar queda de galhos e outros elementos vegetais de forma diferenciada entre os blocos, resultando na disponibilização de Ca^{2+} de formas diferenciadas. Souza (1997) estudou os diferentes materiais que compõe a serapilheira de mata não minerada, bracatinga e floresta com eucalipto e relatou que nas áreas de mata e bracatinga a serapilheira era composta principalmente de folhas, aproximadamente 95%, enquanto que o cultivo com eucalipto apresentava mais galhos finos ou ramos. Em relação a este fato, um teor três vezes maior de cálcio nos ramos do que nas folhas de eucalipto foi verificado por Poggiani (1985).

Além disso, o povoamento florestal com pinus não foi submetido a adubação, tendo sido realizada desrama em duas ocasiões, o que sugere a presença de um sub bosque, com diferente grau de desenvolvimento entre os blocos e cuja contribuição com material orgânico pode ter resultado nos diferentes teores de Ca entre os blocos estudadas.

De acordo com Santos e Camargo (1999), as folhas representam 70% da serapilheira. Neste trabalho, um fator a ser considerado é a composição da serapilheira de acículas e cones de pinus, constituídas de lignina, de difícil e lenta decomposição (recalcitrantes – resistem à decomposição ou apresentam taxa de decomposição muito lenta), que podem liberar quantidades diferentes de cálcio.

Na Floresta Ombrófila Mista observou-se uma diferença significativa de Ca^{2+} , ao nível de 95% de probabilidade entre dois blocos, enquanto que no povoamento florestal com pinus foi verificada diferença significativa de 99% entre as médias dos três blocos. Isso mostra que a composição vegetal de cada ecossistema, o relevo (principalmente no caso da Floresta Ombrófila Mista), a idade (no caso do pinus, devido a senescência de galhos, acículas, entre outros), e o manejo (pinus), espécies botânicas, maior dificuldade na decomposição das acículas e a menor exigência nutricional de Ca^{2+} (o pinus apresenta baixa

exigência nutricional) nas espécies vegetais que compõe os ecossistemas influenciam os teores encontrados na serapilheira.

4.2.2 Magnésio

Floresta Ombrófila Mista

Os teores obtidos para o magnésio na serapilheira foram 0,71%, 0,70% e 0,75% para os blocos 1, 2 e 3, que não diferiram estatisticamente ao nível de 95% de probabilidade pelo teste. Indica, ainda, a homogeneidade entre os blocos, o que significa que a maior mobilidade do Mg^{2+} na planta resulta em menor necessidade de ciclagem por meio da serapilheira.

O magnésio é rapidamente translocado das regiões maduras para as mais jovens, com crescimento mais ativo, mantendo o elemento por mais tempo no ciclo da planta (EPSTEIN; BLOOM, 2006). É um comportamento diferente daquele apresentado pelo cálcio, sendo que estes resultados podem ser justificados pelo menor retorno do Mg^{2+} para a serapilheira, pela retenção do elemento na planta.

Povoamento florestal com *P. taeda*.

Os teores de Mg^{2+} observados na serapilheira do povoamento florestal com *P. taeda* foram: 0,21%, no bloco 1; 0,42% no bloco 2 e 0,31% no bloco 3. De acordo com Malavolta (1980) a faixa dos teores mínimos ou níveis de nutrientes críticos em tecidos vegetais, em especial folhas, é de aproximadamente 0,20 %, valor próximo aos obtidos neste estudo. Foram observadas diferenças significativas ao nível de 95% de probabilidade entre os blocos 2 e 1. Isso indica que, aparentemente, existe uma dinâmica diferenciada de ciclagem na serapilheira de pinus, para o bloco 2. Observa-se ainda que, os teores de Ca^{2+} , K^+ , P e N também foram superiores aos dos blocos 1 e 3. Este resultado pode sugerir maior eficiência ambiental e nutricional do local (bloco 2), decorrente de outros fatores como morte ou dejetos animais que, decompostos presume-se o enriquecimento do solo em nutrientes e, especialmente, em fósforo e em estado

prontamente assimilável, o que vem dar suporte à estabilidade nutricional, quando analisada em conjunto com os demais nutrientes.

A obtenção de menores valores em outros blocos pode estar relacionada com a incapacidade das plantas em absorver certos minerais, decorrente da falta de outros, no caso do fósforo. Também, a presença de altos teores de potássio ou de cálcio poderiam justificar a menor assimilação de magnésio pela planta.

Segundo Mason (1980) as populações iniciais nas acículas participam alimentando-se dos extrativos solúveis (proteínas e açúcares simples) e da celulose. Posteriormente, surgem os grupos que possuem capacidade de atuar sobre os compostos fenólicos simples e até mesmo sobre a lignina. O mesmo autor cita, ainda, a importância de considerar a meso e a macrofauna do solo que podem estimular a atividade microbiana do solo pela deposição de dejetos (fonte de N), melhorando as relações entre nutrientes.

Por outro lado, a limitação na disponibilidade ou a deficiência nutricional de qualquer nutriente pode causar problemas que afetam os processos fisiológicos e bioquímicos nos microrganismos, tais como a síntese de enzimas e outros biopolímeros, estabilização de células da parede celular, estrutura terciária do DNA e RNA, divisão celular, ligação de fagos (abreviação de fagócito - tem a propriedade de englobar ou destruir outras células) à célula, mobilidade e interações simbióticas, conseqüentemente, influenciam na mineralização do Mg^{2+} (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Se houver deficiência de qualquer nutriente para o desenvolvimento dos microrganismos, haverá redução da atividade no processo de decomposição da serapilheira e mineralização do Mg^{2+} .

A Tabela 9 apresenta os teores de Mg^{2+} nos três blocos, tendo sido verificado maior teor de Mg^{2+} no bloco 2.

No povoamento florestal com pinus observou-se uma diferença significativa de Mg^{2+} ao nível de 95% de probabilidade entre blocos enquanto que na Floresta Ombrófila Mista não foi verificada diferença, com significância de 95%, entre as médias dos blocos. Isso mostra que na Floresta Ombrófila Mista a composição da serapilheira e maior velocidade de decomposição não apresentaram diferenças estatísticas entre os blocos para o Mg^{2+} , enquanto que para o povoamento florestal com pinus foi possível observar esta diferença. Além

disso, na área de pinus, contribuições da meso e macrofauna observadas visualmente no bloco 2, sugerem maior atividade microbiana na mineralização e disponibilização de magnésio na serapilheira.

4.2.3 Nitrogênio

Floresta Ombrófila Mista

Os teores de nitrogênio obtidos para a Floresta Ombrófila Mista foram 1,76% e 1,92% e 1,81%, para os blocos 1, 2 e 3, não sendo verificada diferença estatística entre as médias de N, ao nível de 95% de probabilidade, mostrando a homogeneidade entre os blocos.

Quando comparada com o valor de 1,30% como teor crítico para pinus, como citado por Malavolta (1980), pode-se presumir que, locais onde foram constatadas algumas espécies de fabáceas, tiveram suas raízes beneficiadas pela atividade microbiana, devido a melhor fixação do N do ar resultante da quantidade que fica à disposição da planta e, conseqüentemente, enriquecendo a floresta, inclusive ao seu redor.

De acordo com Silva et al. (1998), a dinâmica do nitrogênio é a de mais rápida transformação no solo, apresentando-se na forma catiônica ou aniônica e pode variar com o comportamento desse nutriente na planta, dependente da idade, espécie, condições edafoclimáticas e práticas de manejo adotadas. Os mesmos autores relatam ainda que esses fatores podem influenciar na concentração do N na serapilheira. Esses autores citam que o N, P e K são os elementos de maior mobilidade na planta e apresentam teores mais elevados em folhas jovens, permanecendo no vegetal. Assim, na serapilheira essas concentrações são menores.

Entretanto, no ecossistema Floresta Ombrófila Mista, apesar da diversidade vegetal e solo, a dinâmica do nitrogênio na serapilheira mostrou um comportamento homogêneo.

Não foram observadas diferenças entre os blocos estudados para o ecossistema e isto se deve, provavelmente, a um equilíbrio na disponibilidade de N. A vegetação em sítios ricos em N produzem serapilheira com altos teores de

N, o que implica em rápidas taxas de decomposição de matéria orgânica do solo (MOS) e mineralização de N. Em ecossistemas pobres em N, as plantas crescem mais vagorosamente, usam N de forma mais eficiente e produzem uma serapilheira de pior qualidade, ou seja, alto conteúdo de lignina e relação C:N alta (CAMPOS et al., 2008).

Povoamento florestal com *P. taeda*.

Os valores verificados para o teor de N para o povoamento florestal com *P. taeda* estão apresentadas na Tabela 9. Os valores foram 1,27%, 1,57% e 1,22% para os blocos 1, 2 e 3, que não apresentaram diferença estatística entre os teores de N ao nível de 95% de probabilidade.

A distribuição espacial do nitrogênio verificado no povoamento com *P. taeda* apresentou comportamento similar ao observado na Floresta Ombrófila Mista. Os teores verificados nos blocos estudados apresentaram-se próximos ao valor de 1,30% citado como teor crítico para pinus por Malavolta (1980). Assim, presume-se que os teores de N seriam suficientes para a sustentabilidade do sistema.

Observou-se a homogeneidade entre os blocos, confirmada pela análise de variância, em que não foi verificada diferença significativa entre as médias de N, ao nível de 95% de probabilidade, tanto para o ecossistema Floresta Ombrófila Mista quanto para o povoamento florestal com pinus.

4.2.4 Fósforo

Floresta Ombrófila Mista

Os valores verificados para o fósforo não apresentaram diferença estatística significativa, ao nível de 95% de probabilidade, entre os blocos. O teor de P foi 0,19%, 0,16% e 0,12% para os blocos 1, 2 e 3, respectivamente.

Quando considerada a distribuição do P nas diversas partes da floresta, a maior concentração de fósforo é encontrada na biomassa das raízes, com aproximadamente 51%, e apenas 14% na folhagem (CAMPOS et al., 2008). Este fato poderia justificar os baixos valores de fósforo encontrados na serapilheira

dos ecossistemas estudados, sendo que uma grande parcela do P permanece na biomassa de raízes.

Em um trabalho no qual se discute a ciclagem de nutrientes consta que parte dos ecossistemas tem uma distribuição adequada de fósforo entre o solo e o bosque, representando, geralmente, as reservas na vegetação de 20 a 50% da reserva total de P do solo. O mesmo trabalho relata que a taxa de deposição deste elemento através da água de chuva é muito pequena, menor que $1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (FASSBENDER, 1985).

As taxas de transferência de P com os resíduos vegetais oscilam entre 2 e $14 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Comparando esses valores com os de outros elementos, constata-se que o fósforo apresenta uma mobilidade bastante pequena na natureza. O caráter drenado de P, que é a capacidade do solo reter o P em ligações de energia muito alta, portanto em formas pouco disponíveis às plantas, é elevado em muitos dos solos brasileiros (FASSBENDER, 1985).

Assim, fatores como a estreita entrada de P no ciclo biogeoquímico, a fixação e indisponibilização para as plantas, e as maiores concentrações na biomassa radicular sugerem que a ciclagem de fósforo segue uma estreita rotina de disponibilidade, que pode ocorrer tanto para ecossistemas naturais quanto cultivados, como se observa no presente estudo.

Povoamento florestal com *P. taeda*.

A Tabela 9 apresenta os valores observados para o P no povoamento com pinus que foram 0,17%, 0,21% e 0,18%, para os blocos 1, 2 e 3, respectivamente. Não foi verificada diferença estatística entre as médias de P ao nível de 95% de probabilidade, entre os blocos.

Observou-se a homogeneidade entre os blocos para ambos os ecossistemas, confirmada pela análise de variância, em que não foi verificada diferença significativa entre as médias de P ao nível de 95% de probabilidade.

4.2.5 Potássio

Floresta Ombrófila Mista

Os valores observados foram 0,21% no bloco 1, 0,18% no bloco 2 e 0,18% no bloco 3 (Tabela 9). Não foi verificada diferença estatística significativa entre as médias de K^+ ao nível de 95% de probabilidade, mostrando a homogeneidade entre os blocos. O potássio é absorvido na forma iônica (K^+) e conduzido à parte aérea pelo xilema e também pelo floema na mesma forma; a redistribuição interna pelo segundo sistema de vasos é bastante fácil. O potássio se transloca das folhas mais velhas para as mais novas, para as regiões de crescimento bem como para o fruto em desenvolvimento (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Os elementos mais móveis como N, P e principalmente o K^+ , são mais concentrados nas folhas jovens. O teor de K^+ declina à medida que as folhas amadurecem e envelhecem (SILVA; SANTOS; PAIVA, 1998). Assim, os resultados obtidos neste trabalho sugerem que o comportamento do K^+ , em Floresta Ombrófila Mista, apresenta um ciclo bioquímico muito eficiente translocando o K^+ de folhas velhas para as folhas jovens e produzindo biomassa. De forma semelhante ao Mg^{2+} , o K^+ parece permanecer maior tempo na planta, contribuindo em menor quantidade com a serapilheira, de acordo com o material vegetal.

Povoamento florestal com *P. taeda* L

Os valores obtidos para o teor de potássio na serapilheira do povoamento com *P. taeda* encontram-se na Tabela 9. Os resultados da análise não mostraram diferença estatística entre as médias de K^+ ao nível de 95% de probabilidade, entre os blocos 1, 2 e 3, que apresentaram teores de 0,10%, 0,17% e 0,14%, respectivamente, evidenciando a homogeneidade. O valor obtido no bloco 1 foi inferior à suficiência necessária e os valores dos blocos 2 e 3 foram superiores em relação ao nível mínimo necessário (1%) verificado para *Pinus* spp (MALAVOLTA, 1980).

O comportamento do K^+ na serapilheira de povoamento com pinus foi semelhante ao observado na Floresta Ombrófila Mista, embora os valores tenham sido inferiores aos obtidos na Floresta Ombrófila Mista.

Observou-se em ambos os ecossistemas a homogeneidade entre blocos, confirmada pela análise de variância, em que não foi verificada diferença significativa entre as médias de K^+ , ao nível de 95% de probabilidade.

Considerando a elevada mobilidade do K^+ na planta e o translocamento deste elemento para folhas novas e que a serapilheira é composta por folhas velhas e senescentes, frutos e outras estruturas vegetais que já apresentam alguma deficiência, pode-se inferir que o K^+ permanece no ciclo bioquímico na planta, diferentemente do que ocorre com o cálcio.

Comparação entre ecossistemas

Na Floresta Ombrófila Mista e no povoamento florestal com *P. taeda* foi realizado o teste “*t*” de Student para comparar as médias de Ca^{2+} (0,81% e 0,30%, respectivamente), Mg^{2+} (0,72% e 0,31%, respectivamente), K^+ (0,20% e 0,13%, respectivamente), N (1,83% e 1,35%, respectivamente) e P (0,16% e 0,19%, respectivamente). As médias são apresentadas na Figura 21. Verificou-se que as quatro primeiras foram estatisticamente diferentes, ao nível de 95% de probabilidade e o fósforo não.

Em povoamento florestal com pinus a serapilheira é mais espessa, o período de decomposição do material é muito mais prolongado que no povoamento florestal, além da composição do material ser diferente, conseqüentemente os elementos presentes na serapilheira são diferentes.

A seqüência observada de retorno de nutrientes para a serapilheira para a Floresta Ombrófila Mista foi $N > Ca > Mg > K > P$, enquanto que para o povoamento florestal com pinus foi $N > Mg > Ca > P > K$, demonstrando a diferença de respostas entre os ecossistemas estudados. Resultados encontrados por Poggianni e Davide (2001) mostraram duas seqüências de retorno dos nutrientes ao solo, para a mata não minerada e eucalipto $Ca > N > Mg > K > P$ e para a bracinga $N > Ca > Mg > K > P$, confirmando a existência de diferenças entre espécies quando considerada a condição nutricional da serapilheira.

Silva; Santos; Paiva, 1998 encontraram diferença entre a seringueira e o *Pinus oocarpa*, com teores mais elevados para a seringueira, sugerindo que as florestas folhosas concentram mais nutrientes do que as florestas de coníferas. Neste estudo também foram observados teores mais altos de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e N para a Floresta Ombrófila quando comparada com o povoamento florestal com pinus.

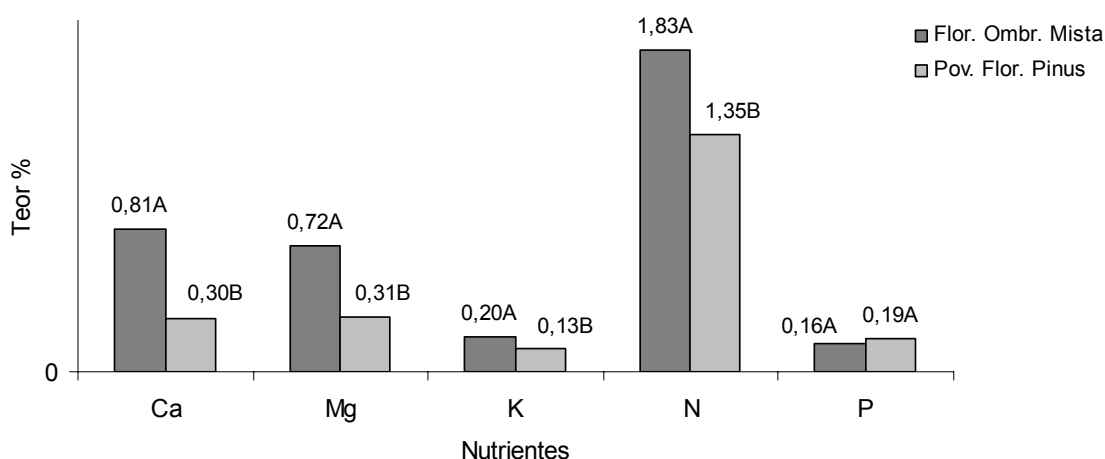


FIGURA 21 – Teores médios de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , N e P (%) na serapilheira de Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com *P. taeda* em Tijucas do Sul/PR.

• **Síntese dos resultado da variável condição nutricional da serapilheira**

Floresta Ombrófila Mista

> quantidade de Ca no B 3 e B1

Retorno de Nutrientes

N>Ca>Mg>K>P

Povoamento florestal com *P. taeda*

> quantidade de Ca no B2

> quantidade de Mg no B2

Retorno de Nutrientes

N>Mg>Ca>P>K

4.3 EFEITO DOS ECOSSISTEMAS FLORESTA OMBRÓFILA MISTA E POVOAMENTO FLORESTAL COM *P. taeda* SOBRE A VARIÁVEL FERTILIDADE NA ZONA DE TRANSIÇÃO E SOLO

A comparação de médias de fertilidade para os fatores profundidade, bloco e posição (local de coleta dentro do bloco: A, B, C, D, E) foi realizada por meio da análise de variância, quando suas variâncias mostraram-se homogêneas após a aplicação do Teste de Hartley. Adicionalmente, foi realizado o teste de Tukey para comparação de médias.

Foram realizadas análise de variância para pH CaCl₂, pH SMP, H + Al, Al cmol_c dm⁻³, Ca²⁺+ Mg²⁺ cmol_c dm⁻³, Ca²⁺ cmol_c dm⁻³, Mg²⁺ cmol_c dm⁻³, K⁺ cmol_c dm⁻³, P mg dm⁻³, C g dm⁻³, SB cmol_c dm⁻³, T cmol_c dm⁻³, V%, M%, areia %, argila%, silte %, em dois ecossistemas (Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com *P. taeda* L) em duas profundidades (zona de transição e solo) em cinco posições. A Tabela 10 apresenta os valores obtidos para a fertilidade na zona de transição e solo.

TABELA 10 –Valores médios observados de pHCaCl₂, pH SMP, H+Al, Al, Ca²⁺+Mg²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, P, MO, SB, T, V%, m%, Areia, Argila, Silte em duas profundidades e três blocos para dois ecossistemas em Tijucas do Sul/PR.

Ecosistema	Floresta Ombrófila Mista						Povoamento florestal com <i>P. taeda</i>					
	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3	
Profundidade	z. trans	solo	z. trans	solo	z. trans	solo	z. trans	solo	z. trans	solo	z. trans	Solo
pHCaCl ₂	3,66	3,90	3,51	3,88	4,49	4,40	3,30	4,32	3,78	4,44	3,54	3,90
H+Al cmol _c dm ⁻³	21,94	14,50	15,33	12,34	7,67	11,14	20,54	12,75	13,44	10,36	16,78	12,11
Al cmol _c dm ⁻³	2,18	4,02	2,16	4,34	0,31	2,58	3,88	3,58	1,48	1,17	2,28	4,34
Ca+Mg cmol _c dm ⁻³	5,10	1,48	2,88	1,14	8,16	1,34	2,42	0,71	5,24	5,46	2,68	1,29
Ca cmol _c dm ⁻³	2,17	0,26	1,61	0,34	4,76	0,32	0,72	0,15	3,88	3,80	1,78	0,53
Mg cmol _c dm ⁻³	2,94	1,22	1,28	0,78	3,41	0,98	1,70	0,63	1,40	1,66	0,90	0,77
K cmol _c dm ⁻³	0,42	0,12	0,33	0,10	0,45	0,10	0,26	0,07	0,28	0,12	0,30	0,08
P mg dm ⁻³	33,28	4,16	23,61	5,22	40,51	3,42	18,26	3,35	33,82	22,44	25,10	4,24
MO g dm ⁻³	190,23	76,82	126,11	66,50	229,33	70,04	282,97	78,07	389,61	100,65	362,20	72,84
SB cmol _c dm ⁻³	5,52	1,60	3,20	1,22	8,62	1,42	2,68	0,84	5,52	5,60	2,96	1,34
T cmol _c dm ⁻³	21,46	16,08	18,56	13,58	16,30	12,58	23,22	13,60	18,94	15,94	19,72	13,46
V%	25,28	9,82	18,20	9,10	53,32	11,44	11,18	6,28	29,54	35,00	15,44	10,40
M%	29,62	72,86	42,20	77,82	3,68	63,94	60,58	80,42	20,72	17,72	43,58	74,96
Areia%	33,54	33,30	23,50	24,06	16,06	34,58	30,50	40,32	18,76	28,98	24,82	42,64
Argila%	7,20	42,70	9,82	41,52	11,14	39,68	24,38	46,78	20,32	44,14	21,82	43,78
Silte%	59,20	23,98	66,62	34,40	72,78	25,76	45,10	12,92	60,90	26,88	53,36	13,56

4.3.1 pH de um extrato aquoso em CaCl_2

Floresta Ombrófila Mista

O pH ou acidez ativa, acidez iônica ou acidez atual é adimensional e é representada pelo hidrogênio dissociado, na solução do solo na forma de H^+ .

Os resultados mostraram que houve diferença significativa entre os blocos e profundidades ao nível de 95% de probabilidade. Foi verificada que a acidez foi maior na zona de transição (3,89) do que no solo (4,06). Valores abaixo de 4,5 restringem bastante o crescimento das plantas, pois estes valores indicam a existência de diversas condições desfavoráveis à vegetação, como ser um pouco pobre em cálcio e Mg^{2+} , alto teor de alumínio, alta fixação de P quando falta o C^{2+} e deficiência de micronutrientes e/ou excesso de sais no caso do Mg^{2+} .

Não foi verificada diferença para o fator posição, demonstrando a homogeneidade dentro do bloco. Na Figura 22 observa-se que a acidez foi maior na zona de transição do que no solo, expressando a dinâmica que ocorre na zona de transição devido à maior dispersão observada nesta camada.

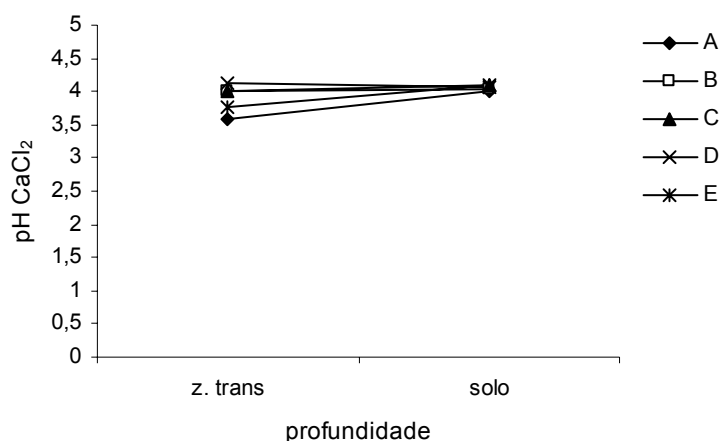


Figura 22 – Valores médios de pH CaCl_2 em Floresta Ombrófila Mista, em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

Os horizontes superficiais de solos em climas úmidos em geral são ácidos devido à lixiviação de bases e a decomposição da serapilheira (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). A serapilheira depositada na superfície do solo é uma fonte

de carbono orgânico e nutrientes que são decompostos pelos microrganismos. A decomposição resulta na formação de proteínas e aminoácidos, carboidratos simples e complexos, resinas, ligninas e outros, em uma primeira fase (ANDREUX, 1996). A segunda fase é representada pelas substâncias húmicas propriamente ditas, constituindo 85 a 90 % da reserva total do carbono orgânico (ANDREUX, 1996). Este fracionamento da matéria orgânica, classificado em huminas, ácidos fúlvicos e os ácidos húmicos compõe a zona de transição, caracterizando a maior acidez verificada na zona de transição no presente trabalho.

A comparação entre os blocos mostrou diferença estatística significativa, sendo observada menor acidez para o bloco 3 (4,45) em relação aos blocos 1 (3,78) e 2 (3,70). Este resultado é coerente com aqueles obtidos pela nutrição da serapilheira, onde maiores teores de cálcio foram observados no bloco 3, provavelmente pela menor quantidade de material vegetal depositado naquele local, conseqüentemente, menor atividade biológica no processo de decomposição, bem como maior lixiviação de bases nos blocos 1 e 2.

Povoamento florestal com *P. taeda*.

Os resultados mostraram que houve diferença significativa entre as profundidades e blocos ao nível de 95%. Observa-se que o povoamento florestal apresenta comportamento semelhante ao da Floresta Ombrófila Mista, maior acidez na zona de transição com pH de 3,54 e no solo 4,22, confirmando novamente a influência da decomposição da serapilheira, embora de composição e espessura diferente das camadas e seus subprodutos na camada subsequente. Em relação à variação entre blocos, que no caso do povoamento florestal com pinus encontra-se em relevo plano, o pH verificado para o bloco 2 (4,11) foi maior e estatisticamente diferente dos blocos 1 (3,81) e 3 (3,72) que não diferiram entre si. Este resultado, de forma semelhante aquele encontrado para a Floresta Ombrófila Mista, mostra que o conteúdo da serapilheira influencia nas características da zona de transição. No bloco 2 do povoamento florestal com pinus foi verificado elevado teor de cálcio. Pode-se considerar neste trabalho que reações similares àquelas que ocorrem no solo com a aplicação de

calcário podem estar ocorrendo na serapilheira ou mesmo na zona de transição com a liberação de carbonatos de cálcio, neutralizando os íons hidrogênio presentes, formando a água.

Na Figura 23, pode-se observar a pequena variação entre as posições estudadas na zona de transição quando comparadas à Floresta Ombrófila Mista (figura 22), apesar de não mostrarem-se estatisticamente diferentes. O maior grau de dificuldade para decomposição de acículas de pinus poderia justificar estes resultados, pelo menor grau de decomposição e consequente menor atividade dos microrganismos.

É importante salientar que a ausência de diferenças estatísticas para o fator posição demonstra a homogeneidade dentro do bloco estudado, confirmando que para o pH CaCl_2 , a amostragem foi adequada.

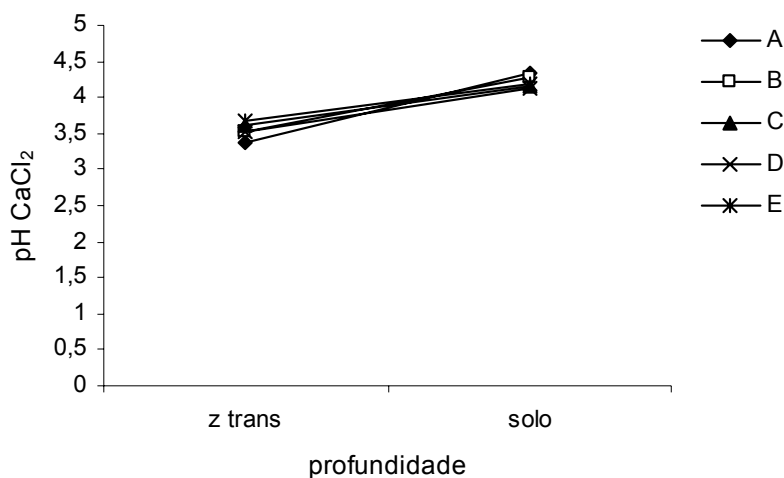


Figura 23 – Valores médios de pH CaCl_2 em povoamento florestal com *P. taeda* L, em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

Não foi observado efeito significativo, ao nível de 95%, na interação entre profundidade e posição para o pH, sendo que este variou equivalentemente na verticalização espacial das profundidades e posições estudadas.

Comparação entre Ecossistemas

Foi realizado o teste “t” de Student na comparação de médias para pH CaCl_2 , obtendo-se diferença significativa ao nível de 95% para a zona de transição entre a Floresta Ombrófila Mista e o povoamento florestal com *P. taeda* com pH de 3,89 e 3,54, diferentemente do ocorrido na profundidade solo com pH de 4,06 e 4,22, respectivamente. Na Figura 24, observa-se que a variação para a acidez na zona de transição foi maior para o povoamento florestal com pinus do que aquela observada na Floresta Ombrófila Mista. Isto sugere que a composição das acículas de pinus em algum momento do processo de decomposição microbiana, resulta em uma quantidade maior ou mais concentrada de ácidos húmicos e fúlvicos.

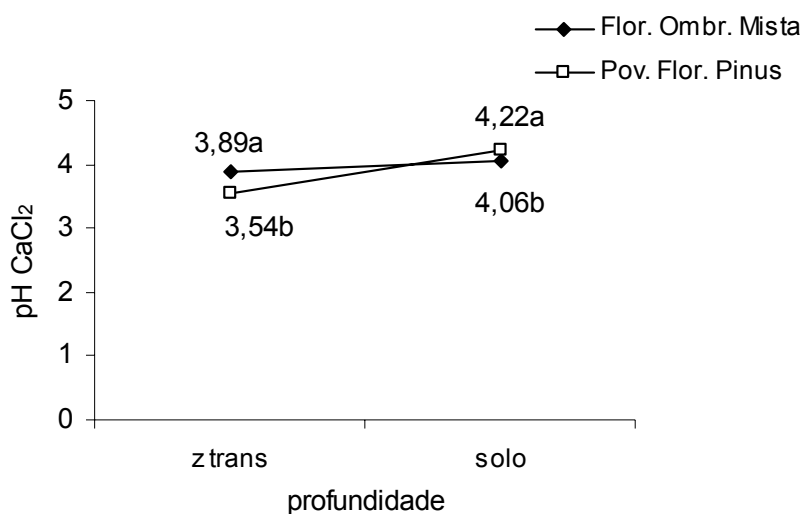


FIGURA 24 – Valores médios de pH em CaCl_2 em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com *P. taeda*, em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

Por outro lado, não houve diferença estatística entre os ecossistemas para o pH do solo. Em alguns casos o pinus é visto como uma cultura que promove a acidificação do solo, entretanto isto não foi verificado neste estudo.

4.3.2 Acidez potencial (H + Al)

Floresta Ombrófila Mista

Foi observada diferença significativa apenas entre os blocos ao nível de 95%. Os resultados obtidos para zona de transição e solo não diferiram entre si e apresentaram valores de $14,98 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $12,66 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente.

A acidez potencial refere-se aos íons H^+ e Al^{3+} que estão retidos na superfície dos colóides do solo por forças eletrostáticas. A quantidade de hidrogênio trocável em condições naturais parece ser pequena. A acidez não trocável é representada pelo hidrogênio de ligação covalente, associado aos colóides com carga negativa variável e aos compostos de alumínio (BRADY, 1974). Considerando que a zona de transição é composta por material vegetal total ou parcialmente decomposta e em pequena quantidade de solo propriamente dito, os resultados aqui obtidos mostram claramente que a acidez verificada para a zona de transição é resultante dos processos de decomposição da matéria orgânica.

Na Figura 25 pode-se observar a variação das médias referentes às posições dentro dos blocos.

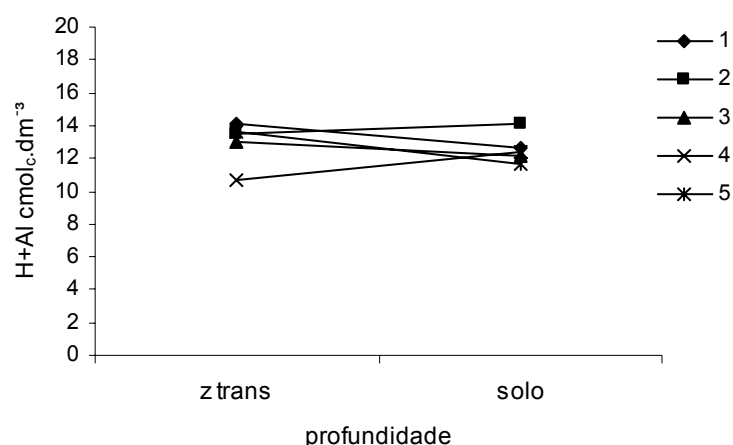


FIGURA 25 – Acidez potencial média $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em Floresta Ombrófila Mista em duas profundidades e cinco posições de amostragem em Tijucas do Sul/PR.

Esta é uma análise que pode ser considerada mais qualitativa do que quantitativa, pois valores elevados de $H^+ + Al^{3+}$ podem indicar a existência de condições desfavoráveis às plantas, como pobreza em Ca^{2+} e Mg^{2+} , altos teores de alumínio e elevada fixação de P. O teor de $H^+ + Al^{3+}$ no bloco 3 ($9,41 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) foi menor e estatisticamente diferente daqueles obtidos para os blocos 1 ($15,23 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e 2 ($13,84 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); novamente pode-se considerar que estes valores estão condizentes com aqueles obtidos para a condição nutricional da serapilheira, que apresentou maior teor de cálcio no bloco 3.

Povoamento florestal com *P. taeda*

Foram observadas diferenças significativas entre os blocos e profundidades, ao nível de 95%. O valor de $H^+ + Al^{3+}$ foi $16,92 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para a zona de transição que foi superior e estatisticamente diferente do solo que apresentou $11,74 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Verifica-se que a acidez potencial em povoamento com pinus se comportou de forma diversa àquela observada para Floresta Ombrófila Mista, que não mostrou diferença entre as profundidades. O maior acúmulo de matéria orgânica sobre a superfície do solo poderia favorecer um grau maior de acidificação na zona de transição em relação ao solo, o que é observado neste estudo. Um outro fator que pode influenciar o grau de acidez é o teor de água, entretanto, conforme estudado para este trabalho, não foram observadas diferenças entre as profundidades estudadas em relação à umidade do solo.

O bloco 1 apresentou o maior grau de acidez potencial com valor igual a $16,65 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e foi estatisticamente diferente do bloco 2, que apresentou valor de $11,90 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. O bloco 3 ($14,45 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) não diferiu estatisticamente dos demais blocos. No estudo sobre a condição nutricional da serapilheira verificou-se que o bloco 2 apresentou o maior teor de cálcio ($5,31 \text{ g kg}^{-1}$), o que provavelmente funcionou como neutralizador da acidez potencial, enquanto que o bloco 1 apresentou apenas $0,75 \text{ g kg}^{-1}$ de cálcio.

A Figura 26 apresenta os valores obtidos em cinco posições e duas profundidades para o povoamento florestal com pinus.

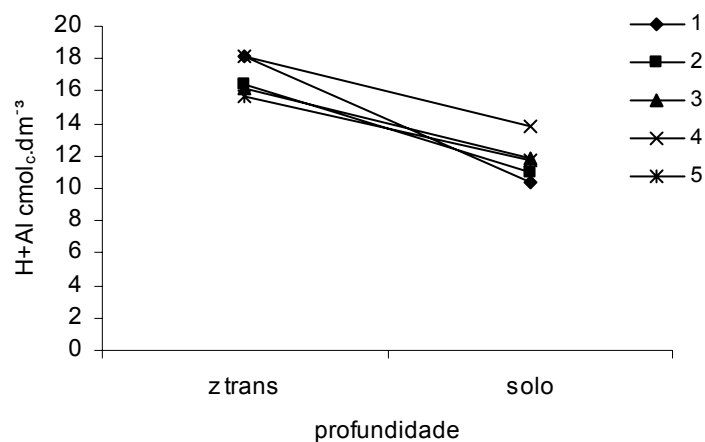


FIGURA 26 – Acidez potencial $H^+ + Al^{3+}$ ($cmol_c dm^{-3}$) em povoamento florestal com *P. taeda*, em duas profundidades e cinco posições de amostragem em Tijucas do Sul/PR.

Para o fator posição de amostragem dentro do bloco não foram observadas diferenças significativas. A homogeneidade verificada no fator posição para cada bloco, representando a acidez potencial no bloco.

Comparação entre ecossistemas

Para a comparação entre os ecossistemas foi realizado o teste “t” de Student, nas duas profundidades estudadas. Os resultados mostraram que não houve diferença ao nível de 95% entre as médias nas profundidades estudadas entre os ecossistemas. Para a zona de transição, os ecossistemas Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com pinus apresentaram acidez potencial de $14,94 cmol_c dm^{-3}$ e $16,92 cmol_c dm^{-3}$ e no solo as médias foram $12,66 cmol_c dm^{-3}$ e $11,74 cmol_c dm^{-3}$, respectivamente (Figura 27). Não foram observadas interações entre profundidades e posição de amostragem.

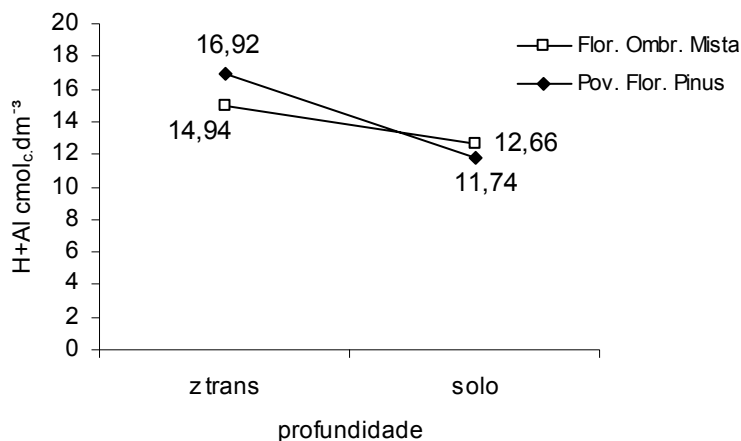


FIGURA 27 – Acidez potencial média ($H^+ + Al^{3+}$ $cmol_c \cdot dm^{-3}$) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com *P. taeda*, em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

4.3.3 Alumínio (Al $cmol_c \cdot dm^{-3}$)

Floresta Ombrófila Mista

Observou-se que houve diferença significativa entre os blocos e profundidades, ao nível de 99% de probabilidade. Não houve diferença significativa entre as posições, demonstrando a homogeneidade dentro dos blocos.

A menor quantidade de alumínio, de $1,44$ $cmol_c \cdot dm^{-3}$, foi verificada no bloco 3 que diferiu estatisticamente dos blocos 1 e 2, que apresentaram respectivamente, $3,10$ $cmol_c \cdot dm^{-3}$ e $3,24$ $cmol_c \cdot dm^{-3}$. Na Figura 28 estão representadas as médias em cinco posições e duas profundidades. Os valores verificados foram de $3,64$ $cmol_c \cdot dm^{-3}$ no solo e $1,54$ $cmol_c \cdot dm^{-3}$, sendo superior no solo e estatisticamente diferente da zona de transição.

O menor teor de alumínio verificado na zona de transição já era esperado, sendo que o alumínio é um elemento tóxico para as plantas e a sua absorção ocorre, principalmente, em condições de elevada acidez no solo. Assim, a zona de transição que é composta pela vegetação em decomposição e por uma porção de solo, tem sua acidez caracterizada pelos ácidos formados resultantes

da decomposição da vegetação e pequena quantidade de Al^{3+} proveniente da porção de solo que a compõe.

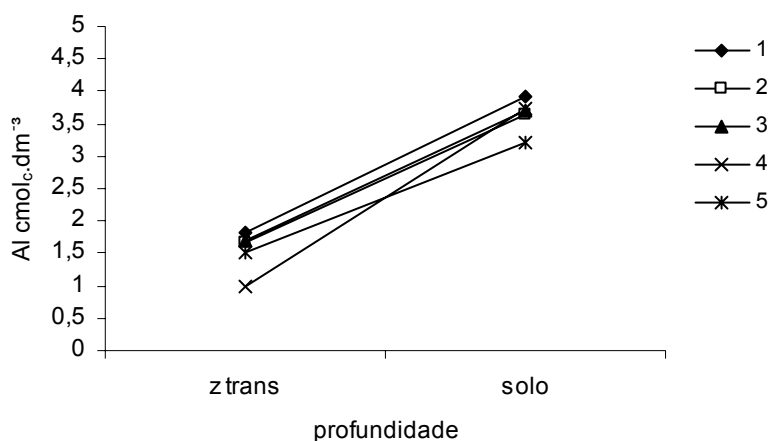


FIGURA 28 – Teor médio de Alumínio Trocável (Al^{3+} $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

A zona de transição é uma mistura de restos vegetais e animais decompostos e uma pequena porção de solo, considerando que o alumínio não é um elemento essencial para as plantas e a sua absorção não ocorre comumente, são esperados baixos valores desse elemento nesse estrato. Na Figura 24 (pH em CaCl_2) verifica-se que o pH do solo é maior do que o pH na zona de transição.

Alves et al. (2004) destacam que em valores de pH do solo igual ou inferior a 5,0, o alumínio trivalente prevalece na solução do solo, sendo considerada a forma mais tóxica às plantas. Neste trabalho, o pH verificado para a Floresta Ombrófila Mista foi de 3,89 para a zona de transição e 4,06 para o solo, considerando que os valores encontrados estão abaixo de 5,0, as espécies da Floresta Ombrófila Mista estão sujeitas à fitotoxicidade de alumínio, o que poderia comprometer o seu desenvolvimento.

Por outro lado, de acordo com Tomé Jr. (1997), apenas o teor de Al trocável não é suficiente para causar toxidez às plantas, pois depende da sua ocupação na CTC efetiva, devendo-se avaliar também a saturação por alumínio (m%). No presente trabalho o valor de m% foi menor na zona de transição

(25,16%) do que no solo (71,54%), portanto há maior probabilidade de ocorrer toxidez de alumínio no solo.

O alumínio também pode ser complexado pela matéria orgânica existente no solo, como ácido cítrico, ácido oxálico, ácidos húmicos e, principalmente, os ácidos fúlvicos, que apresentam maior quantidade de grupos funcionais (por exemplo COOH⁻), os quais são componentes orgânicos de menor peso molecular e normalmente solúveis (SIQUEIRA, 1985; VANCE; STENVENSON; SIKORA 1995; MACHADO, 1997; SALET, 1998). Esta capacidade dos componentes da matéria orgânica de complexar o alumínio indica que na zona de transição, apesar da elevada acidez verificada, boa parte do alumínio encontra-se complexada.

Povoamento florestal com *P. taeda*

Os resultados mostraram que para o Al³⁺, no povoamento com pinus foi observada diferença significativa entre blocos ao nível de 99%. Não foram observadas diferenças estatísticas entre as profundidades e posições estudadas, demonstrando a homogeneidade do Al trocável dentro dos blocos (Figura 29).

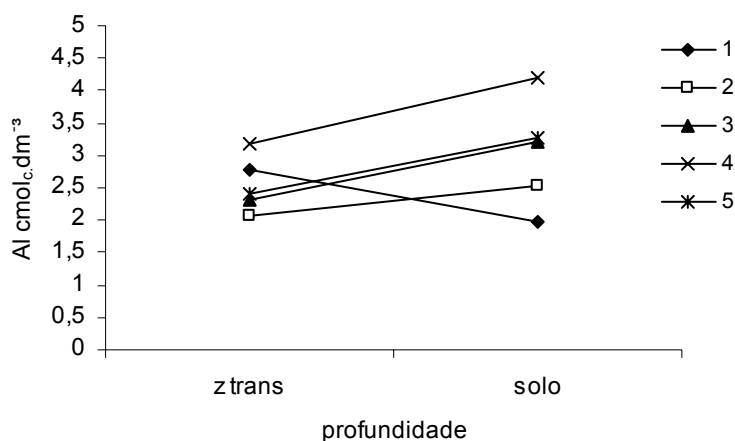


FIGURA 29 – Teor médio de Alumínio Trocável (Al³⁺ cmol_c dm⁻³) em povoamento florestal com *P. taeda* em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

Observou-se no solo $3,03 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e para a zona de transição $2,54 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, não havendo diferenças estatísticas entre elas. Estes resultados mostram que a espessa camada de acículas e cones de pinus presentes na serapilheira e seu maior grau de dificuldade para a decomposição microbiana indicam que a matéria orgânica decomposta (húmus) é pequena e, portanto, com baixa formação de ácidos fúlvicos, capazes de promover a complexação do alumínio trocável, conforme discutido anteriormente por autores como Santos e Camargo (1999) e Moreira e Siqueira (2002).

Quando consideradas os blocos, verifica-se que o menor teor de alumínio trocável é verificado no bloco 2 ($1,33 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), que diferiu estatisticamente dos blocos 1 ($3,73 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e 3 ($3,31 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Deve-se considerar que foram encontrados maiores valores de cálcio e magnésio no bloco 2.

O bloco 2 apresentou ainda maior teor de argila quando comparado aos demais blocos. De acordo com Mello et al. (1983), a maioria dos fenômenos que envolvem o sistema solo-água-plantas depende da atividade da superfície. Os mesmos autores relatam que a areia não apresenta atividade, enquanto que o silte tem pequena atividade e a fração mineral mais ativa é a argila. Desta forma, poderia ocorrer maior retenção de bases quando comparado com solos que possuem maiores teores de silte e areia. Solos argilosos retem mais fortemente as bases, sendo portanto menos lixiviada e diminuindo a ocorrência do alumínio. Observou-se que o valor para saturação por bases (V%) para o bloco 2 é igual a 32,27% o qual foi superior e estatisticamente diferente dos demais blocos, que apresentaram V% de 8,73 e 12,92, para os blocos 1 e 3, respectivamente. Não foram observadas interações entre profundidades e posição de amostragem.

Comparação entre ecossistemas

Para a comparação entre os ecossistemas foi realizado o teste "t" de Student, nas duas profundidades estudadas.

Para a zona de transição, os ecossistemas Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com pinus apresentaram teor de alumínio trocável de $1,55 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $2,55 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e os resultados mostraram diferença significativa ao nível de 95%, porém não diferiram no solo, e as médias foram $3,65 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na

Floresta Ombrófila Mista e $3,03 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no povoamento florestal com *P. taeda* (Figura 30).

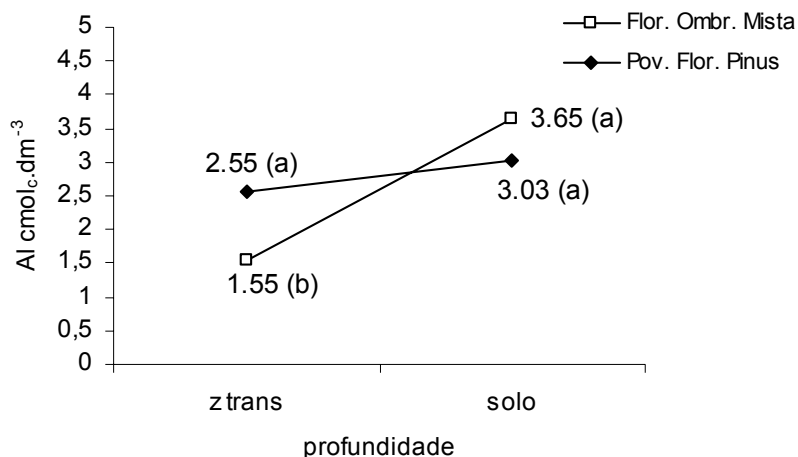


FIGURA 30 – Teor médio de Alumínio trocável ($\text{Al}^{3+} \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com *P. taeda*, em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

4.3.4 Cálcio + Magnésio ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)

Floresta Ombrófila Mista

A Figura 31 apresenta os valores obtidos para $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ na Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades. Houve diferença significativa entre os blocos e entre as profundidades ao nível de 99% de probabilidade. Não foram observadas diferenças entre as posições, demonstrando a homogeneidade de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ dentro dos blocos.

Foi observada diferença significativa entre os blocos ao nível de 95% e entre as profundidades. O valor de $5,36 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ obtido para a zona de transição foi superior e estatisticamente diferente do solo com $1,29 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Os resultados mostram que os maiores teores de cálcio e magnésio encontrados na zona de transição são devidos à dinâmica da ciclagem planta – serapilheira - zona de transição. Observou-se na Tabela 9 que os valores observados para o Ca^{2+} e o Mg^{2+} , na serapilheira, para o ecossistema Floresta Ombrófila Mista só é superado pelo nitrogênio.

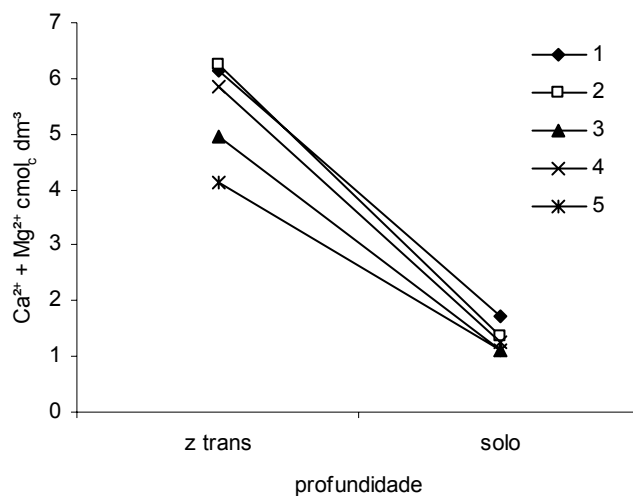


FIGURA 31 – Teor médio de Cálcio mais Magnésio ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

A soma de Ca^{2+} e Mg^{2+} obtida para a serapilheira foi igual a $15,31 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e o teor encontrado para a zona de transição foi de $5,36 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e no solo de apenas $1,29 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$, sugerindo que há um decréscimo do teor ao longo do perfil e que o cálcio pode ter sido reabsorvido pelas plantas ou perdido por lixiviação.

No solo verificou-se menor teor de cálcio e magnésio. Estes nutrientes poderiam estar sob a forma pouco ativa ou pela menor presença de minerais que contém estes elementos, tais como feldspato, hornblenda, calcita e dolomita que representam as formas mais complexas e menos ativas deste elemento para o cálcio e, micas, hornblenda, dolomita serpentina, além de silicatos secundários de alumínio, tal como a montmorilonita para o Mg^{2+} (BRADY, 1983).

O estudo da distribuição espacial de cálcio mais magnésio nos blocos apresentou diferença estatisticamente significativa. O bloco 3 apresentou o teor de $4,9 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$, o qual foi superior e estatisticamente diferente do bloco 1 ($3,28 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$) que não diferiu do bloco 2 ($2,0 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$). Estes resultados mostram o estreito relacionamento entre a serapilheira e a zona de transição; na Tabela 9 observou-se que os maiores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram verificados para os

blocos 3 e 1. Não foram observadas diferenças estatísticas entre as posições estudadas para o $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, demonstrando a homogeneidade dentro dos blocos.

Povoamento com *P. taeda*

A Figura 32 apresenta os valores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ nas profundidades: zona de transição e solo, e em cinco posições. O teor de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ foi superior e estatisticamente diferente na zona de transição que apresentou $3,46 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, enquanto que no solo observou-se o valor de $2,52 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. De forma semelhante ao ecossistema Floresta Ombrófila Mista, o maior teor de cálcio foi observado na zona de transição, provavelmente resultante da contribuição da serapilheira. Estes resultados são confirmados pela maior quantidade de bactérias e fungos verificados na serapilheira que estariam mineralizando a matéria orgânica e disponibilizando o cálcio.

O baixo teor de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ observado no solo pode ser resultante de perdas destes elementos por meio hídrico. De acordo com Brady (1983) em condições de elevada umidade, ocorrem grandes perdas de cálcio por lixiviação.

No caso do povoamento de pinus observou-se que o teor de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ na serapilheira foi igual a $6,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e o teor na zona de transição foi igual a $3,46 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, novamente sugerindo a influência da mineralização na zona de transição.

A distribuição espacial do $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, quando considerados os blocos, mostra que houve diferença significativa ao nível de 95% e 99% de probabilidade. O maior teor de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ foi verificado no bloco 2 com $5,36 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ que diferiu estatisticamente dos blocos 1 ($1,60 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e 3 ($1,99 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Na Tabela 9 verifica-se que o teor de Ca e Mg no bloco 2, da serapilheira, foi superior aos observados nos demais tratamentos, influenciando, assim, o teor de cálcio e magnésio presentes na zona de transição.

Os resultados não mostraram diferenças significativas entre as posições, confirmando a homogeneidade dentro dos blocos (Figura 32).

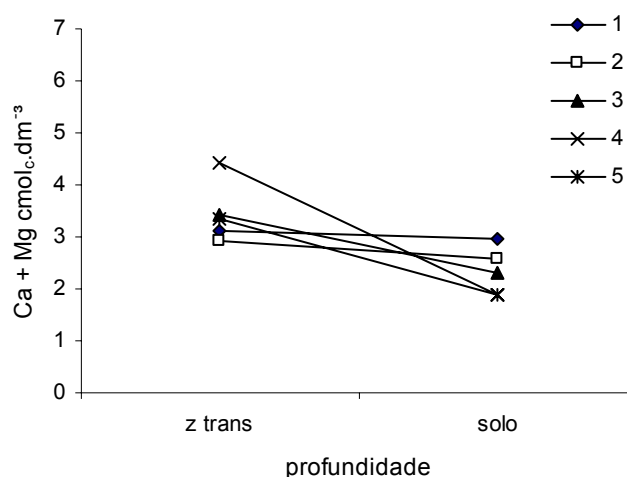


FIGURA 32 - Teor médio de Cálcio mais Magnésio ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ $\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) em povoamento com *P. taeda* em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

Não foi verificado, por meio de análise de variância, efeito significativo ao nível de 95%, na interação da profundidade e posição sobre a soma de cálcio e magnésio, ou seja, a variação foi equivalente espacialmente nas profundidades estudadas.

Comparação entre ecossistemas

Para a comparação entre os ecossistemas foi realizado o teste “t” de Student, nas duas profundidades estudadas. Para a zona de transição, os ecossistemas Floresta Ombrófila Mista e povoamento com *P. taeda* apresentaram teor de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ de $5,36 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ e $3,46 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ na zona de transição e $1,29 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ e $2,52 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ no solo; os resultados mostraram diferença significativa ao nível de 95% (Figura 33).

Observa-se na Figura 43 que o teor de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ foi superior e estatisticamente diferente no solo para o povoamento com *P. taeda*. Na zona de transição o teor de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ foi superior e estatisticamente diferente, ao nível de 95%, para a Floresta Ombrófila Mista.

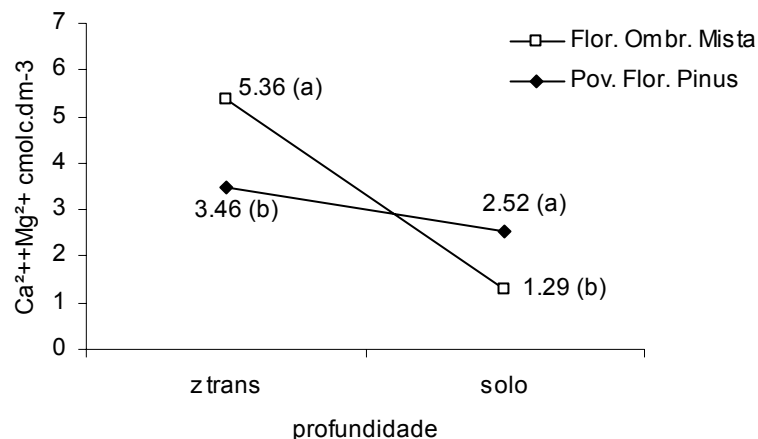


FIGURA 33 – Teor médio de Cálcio mais Magnésio ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com *P. taeda*, em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

Podem ser feitas duas considerações no presente estudo: a primeira que o povoamento com pinus requer menos cálcio e magnésio que o ecossistema Floresta Ombrófila Mista e segundo, que a dinâmica de reciclagem do cálcio e magnésio é maior na Floresta Ombrófila Mista, disponibilizando estes elementos mais rapidamente para reabsorção.

Um outro fator que pode ser considerado no presente estudo é o fato de que o pinus é cultivado com o objetivo de aproveitamento da madeira do tronco e que este é um grande armazém de Ca^{2+} e Mg^{2+} . Selle (2007) estudando a ciclagem de nutrientes em três espécies de eucaliptos verificou que a copa armazena 24% do total dos nutrientes da árvore e na casca é que estão as maiores quantidades de cálcio, aproximadamente 60% do total. Além disso, o mesmo autor cita diferença entre as espécies estudadas em relação à eficiência nutricional. Assim, considerando a diversidade de espécies que ocorrem na Floresta Ombrófila Mista e o povoamento com *P. taeda* os resultados mostram-se compatíveis com as especificidades dos ecossistemas estudados.

4.3.5 Cálcio (Ca^{2+} $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)

Floresta Ombrófila Mista

Na Floresta Ombrófila Mista, o teor de Ca^{2+} foi superior na zona de transição ($2,84 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e estatisticamente diferente do teor verificado no solo ($0,31 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$), contribuindo efetivamente para os resultados obtidos para $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$.

Souza e Davide (2001), estudando uma mata nativa, encontraram na camada de 0-5 cm abaixo da serapilheira $0,70 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$, valor bem inferior ao verificado neste trabalho.

Quando considerados os blocos, verifica-se o mesmo comportamento apresentado para o $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, sendo que o teor mais elevado de cálcio foi observado para o bloco 3 ($2,53 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$), que diferiu estatisticamente dos blocos 1 e 2 ($1,21 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e $0,97 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente).

Não houve significância para a posição, demonstrando a homogeneidade de cálcio dentro dos blocos. Na Figura 34 estão representadas as médias de Ca na Floresta Ombrófila Mista, na zona de transição e solo e nas cinco posições estudadas.

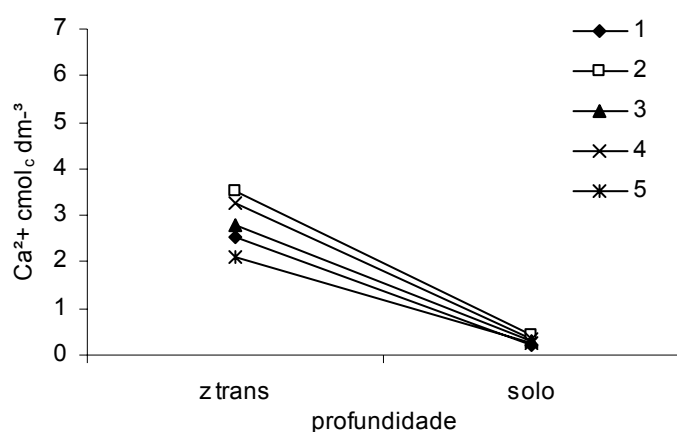


FIGURA 34 – Teor médio de Cálcio (Ca^{2+} $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

Observa-se para a Floresta Ombrófila Mista, é possível verificar a diferença evidenciada na análise de variância, bem como a maior variação na zona de transição, mostrando uma dinâmica maior na disponibilização do cálcio, provavelmente em função da maior atividade de microrganismos do solo e da característica do elemento que apresenta pouca mobilidade dentro da planta e sua presença na serapilheira e, conseqüentemente, na zona de transição.

Povoamento com *P. taeda*

Houve diferença significativa entre as profundidades, ao nível de 95%, contribuindo efetivamente ao comportamento verificado para $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$. Os valores verificados para o cálcio na zona de transição foi de $2,12 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ sendo superior e estatisticamente diferente do solo que apresentou $1,50 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Em estudo sobre a quantidade de macronutrientes, Souza e Davide (2001) encontraram teores de Ca $1,70 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para bracatinga e $0,80 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para o eucalipto na camada orgânica abaixo da serapilheira, ambos inferiores ao verificado na zona de transição de *P. taeda* neste trabalho.

Os resultados obtidos na comparação de médias entre os blocos mostraram diferença significativa ao nível de 99%. Os valores mais baixos foram observados para os blocos 3 ($1,16 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e 1 ($0,43 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) que não diferiram entre si, mas diferiram estatisticamente do bloco 2 ($3,85 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) mostrando que o cálcio varia entre os blocos.

Não houve significância para a posição, demonstrando a homogeneidade de cálcio dentro dos grandes blocos. Na Figura 35 estão representadas médias de cálcio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) no povoamento florestal com pinus, nas duas profundidades e cinco posições.

No povoamento florestal com pinus verifica-se maior variação no teor de cálcio nas posições para a profundidade solo, conforme Figura 35, assim como é confirmada a diferença estatística observada na análise de variância entre as profundidades.

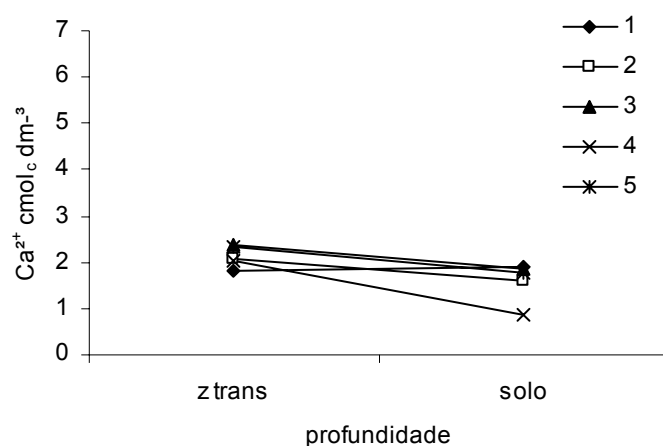


FIGURA 35 – Teor médio de Cálcio (Ca^{2+} $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em povoamento com *P. taeda* em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

O cálcio não foi influenciado significativamente ao nível de 95% pela posição. Essa é uma importante constatação, uma vez que mostra a homogeneidade dos blocos, especialmente.

Não foi verificada, por meio de análise de variância, efeito significativo ao nível de 95%, na interação da profundidade e posição sobre o cálcio, ou seja, ocorreu a variação equivalente espacialmente nas profundidades estudadas.

Comparação entre os ecossistemas

Foi realizado o teste “t” de Student para comparar as médias de cálcio entre os ecossistemas estudados. Não foi verificada diferença significativa ao nível de 95% entre as médias na zona de transição para a Floresta Ombrófila Mista $2,84 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e o povoamento florestal com pinus $2,13 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$. Entretanto existiu no solo, sendo menor e estatisticamente diferente na Floresta Ombrófila Mista que apresentou teor de Ca^{2+} igual a $0,31 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e o povoamento florestal com pinus apresentou $1,49 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$. Este resultado confirma aqueles obtidos na serapilheira, considerando que o baixo teor de cálcio no solo para a Floresta Ombrófila Mista induz a um processo mais dinâmico de ciclagem solo-planta-serapilheira-zona de transição. Essa expressividade do cálcio se deve à sua importância como macronutriente para as

plantas, sua baixa mobilidade na planta e sua fácil disponibilização no solo, conforme discutido por diversos autores.

Por outro lado, no povoamento florestal com pinus ocorre o comportamento inverso, o maior teor de cálcio no solo, a maior tolerância da espécie à acidez e o maior grau de dificuldade de decomposição das acículas resulta em um processo menos intenso de ciclagem deste elemento. Na Figura 36 este comportamento diferenciado entre os ecossistemas fica evidenciado.

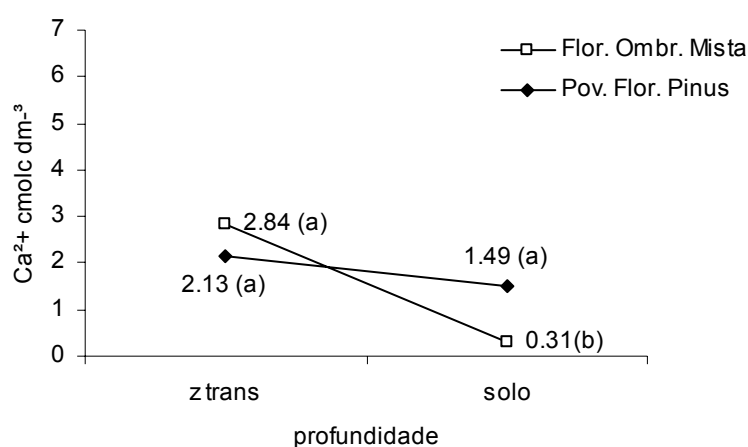


FIGURA 36 – Teor médio de Cálcio (Ca^{2+} cmol_c dm⁻³) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com *P. taeda*, em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

4.3.6 Magnésio (Mg^{2+} cmol_c dm⁻³)

Floresta Ombrófila Mista

Foram observadas diferenças significativas entre os blocos e profundidades ao nível de 95% e 99% de probabilidade, respectivamente.

Na Floresta Ombrófila Mista (FOM) o teor de Mg^{2+} foi superior na zona de transição (2,52 cmol_c dm⁻³) e estatisticamente diferente do teor verificado no solo (0,98 cmol_c dm⁻³), contribuindo efetivamente para os resultados obtidos para Ca^{2+} + Mg^{2+} . Em uma mata nativa foi observado teor de 0,20 cmol_c dm⁻³ para a zona de transição, sendo bem inferior ao observado para a Floresta Ombrófila Mista objeto deste estudo (SOUZA; DAVIDE, 2001)

Quando considerados os blocos, verifica-se para o Mg^{2+} que o teor mais elevado foi observado para o bloco 3 ($2,19 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) que diferiu estatisticamente do bloco 2 ($1,02 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e que o bloco 1 ($2,08 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) não diferiu estatisticamente do bloco 3. Este resultado mostra que o magnésio participa daquele obtido para $Ca^{2+} + Mg^{2+}$.

Não houve significância para a posição, demonstrando a homogeneidade de magnésio dentro dos blocos. Na Figura 37 estão representadas as médias de Mg na Floresta Ombrófila Mista, na zona de transição e solo e nas cinco posições estudadas.

Observando-se a Figura 37 é possível verificar a maior variação deste elemento, tanto no solo, quanto na zona de transição. Conforme descrito anteriormente, a decomposição da serapilheira contribui para enriquecimento da zona de transição, enquanto que no solo o magnésio pode se apresentar sob forma mais complexa e menos ativa.

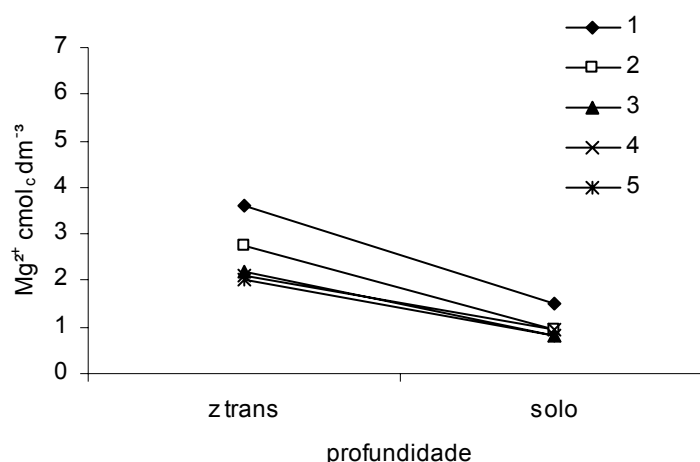


FIGURA 37 – Teor médio de Magnésio ($Mg^{2+} \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR

Povoamento florestal com *P. taeda*.

Os resultados do teor de Mg no povoamento florestal com pinus sob os fatores bloco, profundidade e posições, mostraram que não houve significância

ao nível de 95% de probabilidade para os fatores estudados, demonstrando a homogeneidade na distribuição espacial de magnésio.

Na zona de transição observou-se teor de magnésio igual a $1,33 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e para o solo $1,03 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Em área minerada foi estudada a deposição e a quantidade de magnésio na zona de transição de bracatinga e eucalipto, em que foram verificados teores de $2,83 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $1,33 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente (SOUZA; DAVIDE, 2001). Para a bracatinga o resultado obtido foi duas vezes maior que o obtido neste trabalho para o pinus, enquanto que o mesmo valor foi obtido para o eucalipto. Assim, deve-se considerar que mesmo em plantios homogêneos ocorrem diferenças na quantidade de magnésio e estes são devidos às características da espécie, clima, solo, entre outros.

Os blocos, embora não sejam diferentes estatisticamente, mostraram que o teor de Mg no bloco 3 foi de $1,53 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, seguido pelo bloco 1 com $1,18 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e, finalmente, o bloco 2 que apresentou $0,84 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de magnésio. É importante destacar que também não foram verificadas diferenças significativas entre os blocos, na serapilheira para o Mg^{2+} .

Na planta, o Mg^{2+} é o principal componente da clorofila, estando envolvido nas reações de carboxilação da fotossíntese, ou seja, como coenzima na fixação de CO_2 . O magnésio, que não está compondo a clorofila e as paredes celulares, é muito móvel. Devido à sua alta mobilidade é retranslocado das folhas mais velhas para locais de alta atividade metabólica, facilmente, como caules, grãos e frutos (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Por esta razão é possível compreender que quantidades menores à do cálcio são verificadas na serapilheira e, portanto, na zona de transição. Brum (2006) estudando a composição de acículas verdes na serapilheira (liteira) observou que o N, P, K e o Mg são mais abundantes nas acículas verdes do que na serrapilheira, corroborando os resultados deste trabalho. Entretanto, para o presente trabalho, deve-se considerar a resistência à degradação das acículas de pinus e na sequência a liberação do magnésio para a zona de transição. Confirmando este fato, Chaves e Corrêa (2005) citaram a demorada decomposição das acículas de pinus e

sugeriram que a liteira não representa um incremento efetivo de matéria orgânica no solo.

Na Figura 38 estão representadas as médias de Mg^{2+} no povoamento florestal com pinus, nas duas profundidades e cinco posições. No povoamento florestal com pinus verifica-se maior variação das médias de posição na zona de transição para o magnésio. O teor de magnésio mostrou-se homogêneo para os fatores profundidade, bloco e posição.

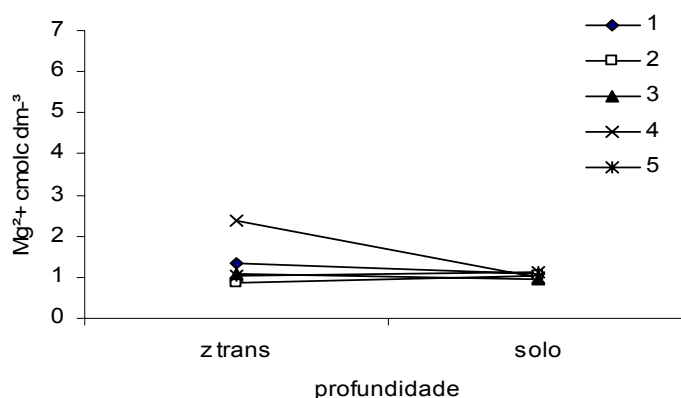


FIGURA 38 – Teor médio de Magnésio (Mg^{2+} $cmol_c dm^{-3}$) em povoamento florestal com *P. taeda* em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR

Não foi verificada, por meio de análise de variância, efeito significativo ao nível de 95%, na interação da profundidade e posição sobre o teor de magnésio, ou seja, houve variação espacial equivalente para os fatores posição e profundidade.

Comparação entre ecossistemas

Foi realizado o teste “t” de Student para comparar as médias de teor de magnésio entre os ecossistemas Floresta Ombrófila Mista e povoamento com *P. taeda*, na zona de transição e solo. Foi verificada diferença significativa ao nível de 99% entre as médias do teor de Mg^{2+} na zona de transição ($2,52 cmol_c dm^{-3}$ e $1,33 cmol_c dm^{-3}$, respectivamente), embora não tenha sido observado esse resultado no solo ($0,98 cmol_c dm^{-3}$ e $1,03 cmol_c dm^{-3}$, respectivamente).

Na Figura 39, observa-se na zona de transição teor de magnésio para a Floresta Ombrófila Mista, superior e estatisticamente diferente ao verificado para o povoamento florestal com *P. taeda*.

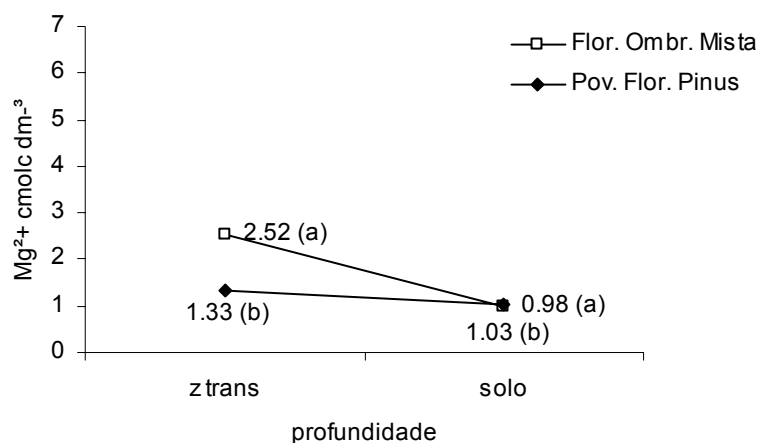


FIGURA 39 – Teor médio de Magnésio (Mg^{2+} cmol_c dm⁻³) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com *P. taeda*, em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

A serapilheira é o maior contribuinte com nutrientes para a zona de transição. Em 2001, Souza e Davide estudando a contribuição com nutrientes de uma mata não minerada, plantação de bracatinga e eucalipto verificaram que o eucalipto contribui com 54 kg ha⁻¹ de Mg^{2+} , a bracatinga com 25,3 kg de Mg^{2+} e a mata não minerada com 57 kg ha⁻¹ de Mg^{2+} . Observa-se por estes resultados que a mata apresentou maior teor de magnésio na serapilheira que as demais culturas. Desta forma, evidencia-se o fato da maior dinâmica na ciclagem de nutrientes em áreas de mata nativa. Além da dinâmica de ciclagem, deve-se considerar ainda a resistência das acículas à degradação biológica.

4.3.7 Potássio (K^+ cmol_c dm⁻³)

Floresta Ombrófila Mista

Os valores obtidos para o K^+ sob os fatores profundidade, bloco e posição na Floresta Ombrófila Mista mostraram que houve diferença significativa entre as

profundidades ao nível de 99% de probabilidade. O teor de K^+ na zona de transição foi superior e diferiu estatisticamente do solo, $0,39 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $0,11 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente.

De acordo com Brady (1983), o potássio apresenta elevado percentual de elementos retido em formas menos assimiláveis, sendo que o K^+ permutável representa menos de 1% das quantidades totais no solo, sendo uma das causas do menor teor de K^+ no solo do que na planta.

Souza e Davide (2001) verificaram em uma mata nativa teor médio de $0,20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ deste nutriente na camada de 0-5 cm logo abaixo da serapilheira, sendo inferior ao obtido neste estudo para o ecossistema Floresta Ombrófila Mista.

Não houve significância para os blocos e posição, demonstrando a homogeneidade de potássio dentro e entre os blocos. As médias observadas nos blocos 1, 2 e 3 foram $0,27 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $0,21 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $0,27 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente. A menor expressividade de K^+ pode estar relacionada com a pequena taxa na ciclagem biogeoquímica, sendo a via pela qual os nutrientes pouco móveis na planta são ciclados, conforme citado por Caldeira (2007).

Na Figura 40 estão representadas médias de K^+ na floresta nativa, nas duas profundidades e cinco posições.

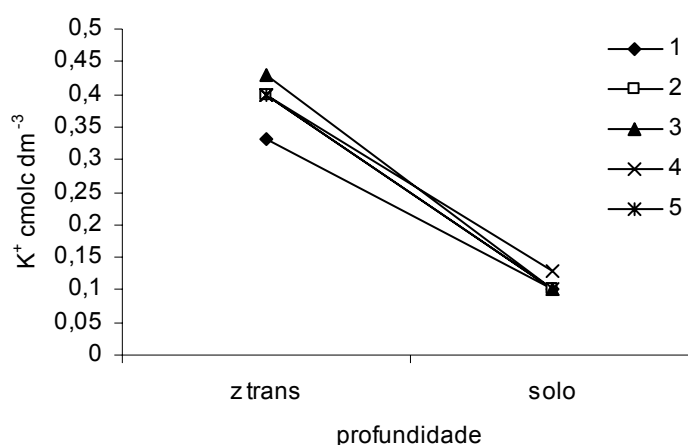


FIGURA 40 – Teor médio de Potássio ($K^+ \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

Povoamento florestal com *P. taeda*.

O povoamento florestal com pinus apresentou diferença significativa entre as profundidades ao nível de 99% de probabilidade. O teor de K^+ na zona de transição foi $0,28 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, o qual é superior e estatisticamente diferente do teor de K^+ no solo de $0,11 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Bizon (2005), estudando a fertilidade de solos em oito sítios, observou teor de K^+ igual a $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no horizonte A para um Cambissolo háplico Tb distrófico e $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no horizonte A1 de um Cambissolo háplico Tb distrófico lítico. No caso de nutrientes na serapilheira de plantios de *Pinus elliottii*, a quantidade de K^+ está entre $0,01 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $0,09 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, dependendo da quantidade de serapilheira depositada, idade e tipo de solo (FERREIRA et al., 2004). Wisniewski e Reissmann (1996) encontraram na serapilheira de *P. taeda* $0,01 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K^+ sobre um cambissolo álico textura argilosa e $0,005 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K^+ sobre um cambissolo álico textura arenosa. Os resultados verificados por Wisniewski e Reissmann (1996) foram obtidos na serapilheira, mostrando-se bem inferiores aos obtidos na zona de transição para o presente trabalho.

Na Figura 41 estão representadas médias de potássio no povoamento com *P. taeda*, nas duas profundidades e cinco posições. Não houve significância para os fatores bloco e posição, demonstrando a homogeneidade de K dentro e entre os blocos. Os blocos 1, 2 e 3 apresentaram teores de K de $0,18 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $0,21 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $0,19 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente

Observando-se a Figura 41, com relação ao povoamento florestal com Pinus, é possível verificar a diferença evidenciada na análise de variância, para o K^+ nas diferentes profundidades.

Não foi verificado, por meio de análise de variância, efeito significativo, ao nível de 95%, na interação da profundidade e posição sobre o potássio, sendo que a variação espacial é equivalente.

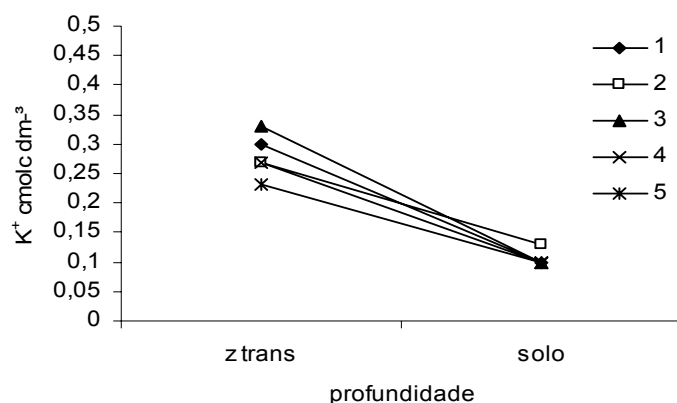


FIGURA 41 – Teor médio de Potássio (K^+ $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em povoamento florestal com *P. taeda* em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

Comparação entre ecossistemas

Foi realizado o teste “*t*” de Student para comparar as médias de K^+ entre os ecossistemas Floresta Ombrófila Mista e povoamento com *P. taeda* nas duas profundidades estudadas. Foi verificada diferença significativa ao nível de 99% entre as médias de K para a zona de transição cujos teores foram de 0,39 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e 0,28 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e no solo os teores foram de 0,11 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e 0,11 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, para a Floresta Ombrófila e pinus, que não diferiram.

Na Figura 42 é evidenciado o teor de K^+ mais elevado para a Floresta Ombrófila Mista na zona de transição, que é a camada que armazena os elementos liberados no processo de decomposição da serapilheira.

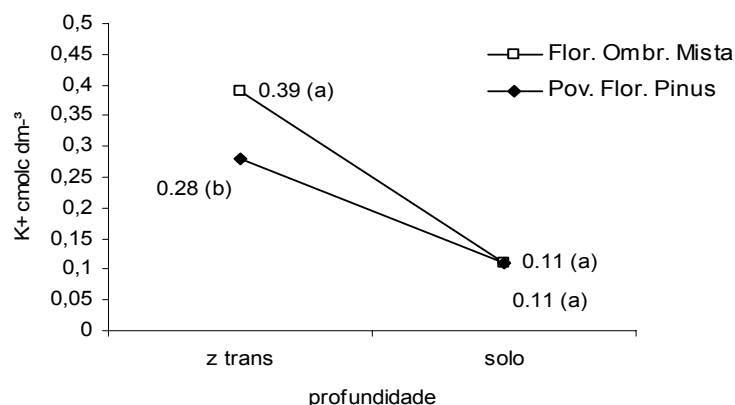


FIGURA 42 – Teor médio de Potássio (K^+ $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com *P. taeda*, em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

No solo fica configurado que, apesar do K^+ ser o oitavo elemento de maior ocorrência, a forma permutável representa um percentual muito pequeno.

4.3.8 Fósforo ($P \text{ mg dm}^{-3}$)

Floresta Ombrófila Mista

Os valores do teor de P foram $32,46 \text{ mg dm}^{-3}$ e $4,27 \text{ mg dm}^{-3}$, para a zona de transição e solo, sendo que houve diferença significativa entre as profundidades ao nível de 99% de probabilidade. Souza e Davide (2001) encontraram em mata nativa teor de 2 mg dm^{-3} de P, sendo que este valor está bem abaixo do verificado neste trabalho.

O fósforo é o segundo elemento mais importante para as plantas, depois do nitrogênio, sendo um componente vital para todas as formas de vida. A quantidade encontrada no solo é, em geral, elevada e ocorre na forma de compostos orgânicos e inorgânicos, mas em baixas quantidades disponíveis para as plantas, sobretudo em solos tropicais (DIONÍSIO, 1996). A elevada capacidade de fixação do fósforo reduz a disponibilidade, o solo compete com a planta pelo elemento, deixando de ser fonte para ser dreno.

Neste estudo, o contraste observado entre os teores de P no solo e na zona de transição sugere que em função da elevada imobilização do P, a planta absorve diretamente do P mineralizado do substrato orgânico, sem permitir ao substrato mineral do solo se envolver no equilíbrio existente, conforme descrito por Campos et al.(2008). Outro fator que pode influenciar significativamente a fixação do fósforo é a acidez, com pH do solo de 4,06 para a Floresta Ombrófila Mista.

Não houve significância para os blocos e posição, demonstrando a homogeneidade de P dentro e entre os blocos. As médias observadas foram $18,71 \text{ mg dm}^{-3}$, $14,41 \text{ mg dm}^{-3}$ e $21,97 \text{ mg dm}^{-3}$ para os blocos 1, 2 e 3.

Na Figura 43 estão representadas as médias do teor de fósforo na Floresta Ombrófila Mista, nas duas profundidades e cinco posições.

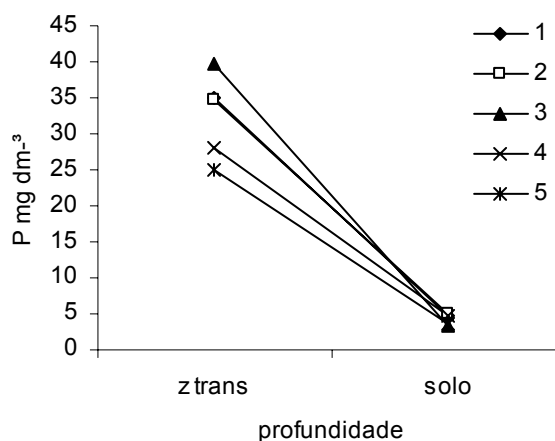


FIGURA 43 – Teor médio de Fósforo ($P \text{ mg dm}^{-3}$) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

Observando-se que o teor de P para a Floresta Ombrófila Mista, é possível verificar a diferença demonstrada na análise de variância, para o P nas diferentes profundidades.

Povoamento florestal com *P. taeda*.

Os resultados verificados para o povoamento florestal com *P. taeda* para o fósforo (P) sob os fatores profundidade, bloco e posição mostrou diferença significativa entre os blocos e profundidades ao nível de 99%, significando que o fósforo varia entre os blocos.

A zona de transição apresentou teor de P superior e estatisticamente diferente ao verificado no solo, $25,72 \text{ mg dm}^{-3}$ e $10,01 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente. Verifica-se para o povoamento florestal com pinus comportamento semelhante ao observado para a Floresta Ombrófila. Deve-se levar em conta que a serapilheira de pinus apresenta-se mais resistente à decomposição, não disponibilizando, no curto prazo, parte do P ao sistema solo-planta, conforme relatado por Chaves e Corrêa (2005) para *Pinus caribaea*. Por outro lado, Wisniewski e Reissmann (1996), trabalhando com a produção anual e conteúdo de macronutrientes em plantios de *P. taeda*, verificaram teores de $1,25 \text{ mg dm}^{-3}$ em um Cambissolo álico, textura argilosa, valor bem inferior ao obtido neste trabalho, possivelmente devido ao caráter álico do solo.

O bloco 2 apresentou o teor de P mais alto ($28,13 \text{ mg dm}^{-3}$) e diferiu estatisticamente dos blocos 1 e 3, que apresentaram $10,80 \text{ mg dm}^{-3}$ e $14,67 \text{ mg dm}^{-3}$. Cabe salientar que o pH observado para o bloco 2 foi maior que os observados nos blocos 1 e 3, que possivelmente tenha contribuído para menor fixação do fósforo. Além disso, de forma geral a acidez do solo foi inferior à acidez observada na serapilheira.

Na Figura 44 estão representadas as médias de fósforo no povoamento florestal com pinus, nas duas profundidades e cinco posições. Não houve significância para a posição, demonstrando a homogeneidade de P dentro dos blocos.

No povoamento com pinus verifica-se a variação no P nas posições, conforme Figura 44, entretanto é confirmada a diferença estatística observada na análise de variância entre as profundidades.

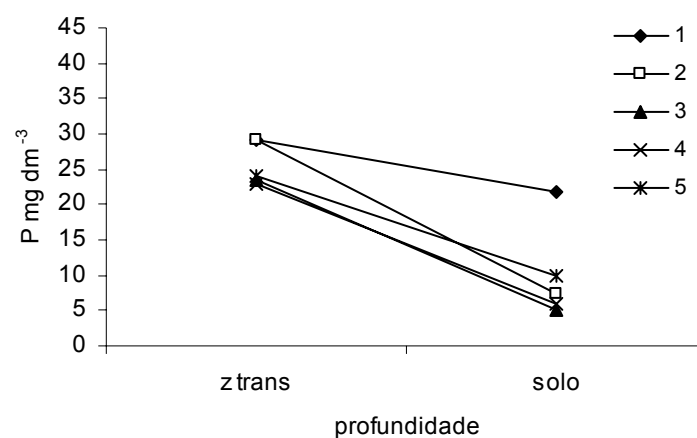


FIGURA 44 – Teor médio de Fósforo (P mg dm^{-3}) em povoamento com *P. taeda* em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

Não foi verificada, por meio de análise de variância, efeito significativo ao nível de 95%, na interação da profundidade e posição sobre o fósforo, ocorrendo a distribuição espacial equivalente nas profundidades.

Comparação entre ecossistemas

Foi realizado o teste “t” de Student para comparar as médias do teor de P na Floresta Ombrófila Mista e no povoamento com *P. taeda*. Não foi verificada diferença significativa ao nível de 95% entre as médias na zona de transição 32,47 mg dm⁻³ e 25,73 mg dm⁻³, respectivamente e no solo 4,27 mg dm⁻³ e 10,01 mg dm⁻³ (Figura 45).

Bizon (2005), estudando dois sítios de *P. taeda*, encontrou para o Cambissolo háplico tb distrofico (CL3) 25,5 mg dm⁻³ de P e para o Cambissolo háplico tb distrófico lítico (CB4) 4,0 mg dm⁻³ de P, na serapilheira muito decomposta. O resultado obtido para a zona de transição para o *P. taeda* está muito próximo ao obtido neste trabalho.

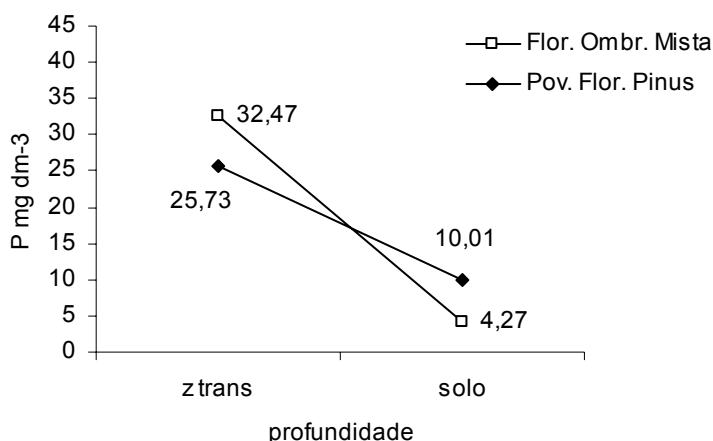


FIGURA 45 – Teor médio de P (mg dm⁻³) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com *P. taeda*, em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR

No solo, Bizon (2005) verificou teores de 3,0 mg dm⁻³ para o Cambissolo háplico tb distrófico e para o Cambissolo háplico tb distrófico lítico os teores de 5,25 mg dm⁻³. O teor observado no solo, neste estudo foi levemente superior aquele encontrado por Bizon (2005), entretanto, confirma maior presença de P na zona de transição quando comparado ao solo.

4.3.9 Matéria Orgânica (MO g dm⁻³)

Floresta Ombrófila Mista

Os valores obtidos para o teor de MO apresentaram diferença significativa entre as profundidades ao nível de 99% de probabilidade. Os resultados mostraram que a quantidade de matéria orgânica na zona de transição foi superior e estatisticamente diferente do teor verificado no solo. As quantidades obtidas foram 190,62 g dm⁻³ e 71,10 g dm⁻³, para a zona de transição e solo, respectivamente.

Segundo Ferreira e Cruz (1990), em geral, em qualquer solo e tipo de cobertura vegetal, ocorre uma maior concentração de matéria orgânica na camada superficial, com uma diminuição do seu teor com a profundidade. A diminuição do teor de matéria orgânica no solo varia em função do tipo de cobertura vegetal morta e da textura do solo, o que condiz com o trabalho, em que a maior quantidade de matéria orgânica se encontra na superfície. O teor de MO decresce bruscamente da camada superficial para a que está imediatamente abaixo, situação descrita por Mello et al. (1983) para solos de floresta. Essa queda brusca no teor de MO, em solos florestais, é resultante de uma maior contribuição da parte aérea do que da radicular. Grande parte das raízes que se renovam periodicamente em florestas se concentram na camada mais superficial. O teor médio de MO encontrado em uma Floresta Ombrófila Mista Montana foi de 6.522,2 g dm⁻³, tratando-se de um valor maior que o determinado neste trabalho (190,62 g dm⁻³ e 71,10 g dm⁻³), para a zona de transição e solo, respectivamente. Essa diferença na profundidade pode ter ocorrido em função da dinâmica das reações no material acumulado na superfície do solo que é influenciada pela temperatura, umidade, pela qualidade inicial do material formador (relação C/N), pelos macro e micronutrientes, organismos do solo, pela composição da serapilheira, entre outros (WEDDERBURN; CARTER, 1999).

Na Figura 46 estão representadas as médias de MO (g dm⁻³) na Floresta Ombrófila Mista, nas duas profundidades e cinco posições. Não houve significância entre os blocos e a posição, demonstrando a homogeneidade da MO dentro e entre os blocos que apresentaram médias 149,70 g dm⁻³, 133,54 g dm⁻³ e 109,40 g dm⁻³ para os blocos 3, 1 e 2.

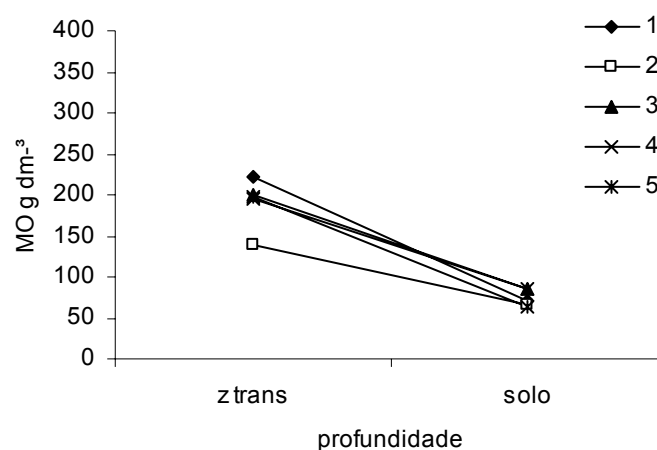


FIGURA 46 – Valores médios de Matéria orgânica (g dm^{-3}) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR

Vashchenko et al. (2007), em uma Floresta Ombrófila Mista Montana observaram uma variação de $46,44 \text{ g kg}^{-1}$ a 258 g kg^{-1} de matéria orgânica nos horizontes superficiais estudados, sendo que os maiores valores ocorreram nos solos localizados nas maiores altitudes. No presente trabalho os resultados divergem dos obtidos por Vashchenko et al. (2007), pois não foram verificadas diferenças estatísticas entre os blocos estudadas.

Povoamento florestal com *P. taeda*.

O teor de matéria orgânica (MO) sob os fatores profundidade, bloco e posição mostrou que houve diferença significativa entre as profundidades ao nível de 99% de probabilidade. Os resultados mostraram que a quantidade de MO na zona de transição foi superior e estatisticamente diferente do teor verificado no solo. As quantidades obtidas foram $344,92 \text{ g dm}^{-3}$ e $83,87 \text{ g dm}^{-3}$, para a zona de transição e solo, respectivamente. De forma similar à Floresta Ombrófila Mista, a ocorrência de maior deposição de serapilheira na superfície do solo resulta em maior quantidade de MO e decresce bruscamente ao longo do perfil. Bognola (2007) estudou o efeito das variáveis granulométricas dos solos sobre o crescimento de *P. taeda*, em Tijucas do Sul - PR, e relatou que os teores de MO variaram entre 40 e 650 g kg^{-1} para as camadas superficiais e de 10 a 110 g/kg no solo. O presente trabalho mostrou valores intermediários para a faixa encontrada por Bognola (2007), tanto na camada superficial quanto no solo.

Na Figura 47 estão representadas médias de MO no povoamento florestal com *P. taeda*, nas duas profundidades e cinco posições. Não houve significância estatísticas entre os blocos e a posição, demonstrando a homogeneidade de matéria orgânica dentro e entre os blocos. Os valores observados nos blocos para *P. taeda* foram: 245,13 g dm⁻³, 217,51 g dm⁻³ e 180,55 g dm⁻³ para os blocos 2, 3 e 1.

Não foi verificada, por meio de análise de variância, efeito significativo ao nível de 95%, na interação da profundidade e posição sobre a matéria orgânica, ou seja, variou equivalente espacialmente nas profundidades estudadas.

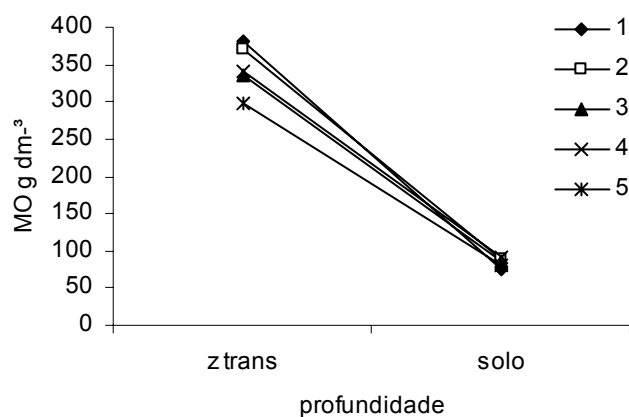


FIGURA 47 – Valores médios de Matéria orgânica (g dm⁻³) em povoamento com *P. taeda* em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

Comparação entre ecossistemas

Foi realizado o teste “t” de Student para comparar as médias de MO (g dm⁻³) na Floresta Ombrófila Mista e no povoamento florestal com pinus em cada profundidade. Foi verificada diferença significativa ao nível de 99% entre os valores obtidos na zona de transição 190,92 g dm⁻³ para Floresta Ombrófila Mista e 344,92 g dm⁻³, para o povoamento com *P. taeda* e a 95% no solo de 71,10 g dm⁻³ e 83,85 g dm⁻³, respectivamente.

Na Figura 48, observa-se que a matéria orgânica verificada é superior no povoamento de pinus. O maior teor de matéria orgânica no povoamento com pinus se deve provavelmente ao maior acúmulo da camada de serapilheira. Souza e Davide (2001) verificaram que a quantidade de serapilheira era de 4,49 t ha⁻¹ para mata nativa e a serapilheira acumulada de 55,45 t ha⁻¹, para o eucalipto de interesse comercial foi obtido 7,10 t ha⁻¹ e 63,32 t ha⁻¹, respectivamente.

Poggiani (1987) estudaram a deposição de serapilheira em talhões de *Pinus taeda*, *Eucalyptus viminalis* e *Mimosa scabrela* e obtiveram a produção de 4,4 t.ha⁻¹, 4,8 t.ha⁻¹ e 2,7 t.ha⁻¹. O pinus e o eucalipto apresentaram produções muito próximas enquanto que a espécie nativa apresentou a menor contribuição. Essa camada depende da velocidade de decomposição do ecossistema, seja da Floresta Ombrófila Mista, ou plantada com *P. taeda*. Assim, quanto mais se deposita a serapilheira e quanto menor sua velocidade de decomposição mais espessa esta será (SANTOS; CAMARGO, 1999).

Caldeira et al. (2007) verificaram variações de serapilheira acumulada entre 4,43 Mg ha⁻¹ e 13,71 Mg ha⁻¹, sugerindo que esta variação pode ser devida ao número de árvores presentes, estágio sucessional, periodicidade na queda das folhas e à qualidade do material produzido pelas espécies, que determinam a degradabilidade e a taxa de decomposição na Floresta Ombrófila Mista Montana localizada em General Carneiro-PR.

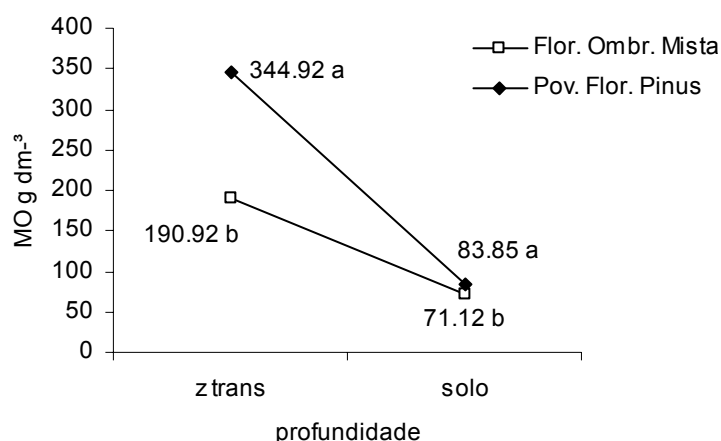


FIGURA 48 – Valores médios de Matéria Orgânica (g dm⁻³) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com *P. taeda*, em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

Os resultados apresentados neste trabalho indicam que existe maior acúmulo de serapilheira para o povoamento florestal com pinus, provavelmente em função do maior grau de dificuldade de decomposição do material depositado, pelas elevadas quantidades de celulose e lignina encontradas nas acículas dos pinus. Além deste fato, pode ocorrer um desequilíbrio entre as taxas de mineralização e imobilização, o qual depende da quantidade de carbono no resíduo e da relação entre carbono e nitrogênio, e fósforo e enxofre.

4.3.10 Soma de Bases (SB $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)

Floresta Ombrófila Mista

Os resultados obtidos para a Soma de Bases ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), sob os fatores profundidade, bloco e posição mostraram diferença significativa entre os blocos e profundidades ao nível de 95% e 99% de probabilidade, respectivamente.

Verificou-se que na zona de transição a soma de bases foi superior e diferente estatisticamente do solo, cujos valores foram, respectivamente de $5,78 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e $1,41 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$. A soma de bases é o reflexo da disponibilidade de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , assim, como estes nutrientes apresentaram teores mais altos na zona de transição em relação ao solo, obteve-se o mesmo comportamento em relação à saturação por bases. Em uma área reflorestada com espécies nativas e exóticas, Moreira e Silva (2004) obtiveram a soma de bases de $5,08 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$, na camada Ap (0-17 cm), valor muito próximo ao obtido neste trabalho. Os mesmos autores encontraram SB de $3,14 \text{ cmol}_c \text{cm}^3$ na camada Bt de 17 a 56 cm, mostrando também o decréscimo da soma de bases ao longo do perfil do solo.

Os blocos, na Floresta Ombrófila Mista, apresentaram teores de $5,02 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (bloco 3) superior e estatisticamente diferente do bloco 1; $3,56 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (bloco 1) que foi estatisticamente igual o bloco 2 e $2,21 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (bloco 2).

Moreira e Silva (2004) estudando três sítios, em área reflorestada, verificaram a ocorrência de diferenças entre os blocos para os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ . O bloco 3 apresentou os valores mais altos para o Ca^{2+} e o Mg^{2+} , sendo estes nutrientes os principais responsáveis pelo resultado obtido para

soma de bases. Os valores obtidos por estes autores para soma de bases foi de $11,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para a meia encosta, $6,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para o topo e $6,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para a baixada, divergindo dos resultados obtidos neste trabalho, que foram $5,02 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para o topo colina (bloco 3), $3,56 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para área plana (bloco 1) e $2,21 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para meia encosta (bloco 2), que apresentaram-se bem inferiores. Provavelmente, esta diferença ocorrida na toposequência ocorra em função do tipo de solo, sendo que Moreira e Silva (2004) trabalharam com o Argissolo Vermelho-Amarelo de textura média. Enquanto que para o presente trabalho os solos estudados foram o Cambissolo Háplico distrófico com Neossolo Litólico típico (topo), Cambissolo Háplico alumínico, distrófico típico com Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico- câmbico (meia encosta) e Argissolo Vermelho amarelo distrófico típico (plano) que são, geralmente, mais pobres em nutrientes.

Na Figura 49 estão representadas médias de soma de bases na Floresta Ombrófila Mista, nas duas profundidades e cinco posições. Não houve significância para a posição, demonstrando a homogeneidade de SB dentro dos blocos e evidenciando a diferença entre as profundidades.

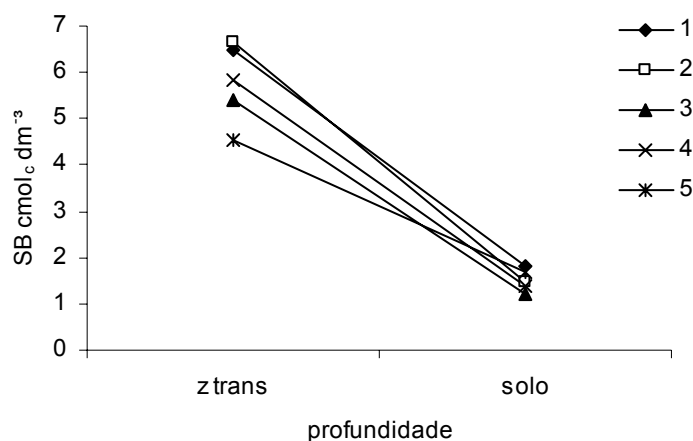


FIGURA 49 – Valores médios de Soma de bases ($\text{SB cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR

Povoamento florestal com *P. taeda*.

Na zona de transição observou-se SB igual a $3,72 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, que foi superior ao nível de 99% do solo, que apresentou SB igual a $2,59 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Para os blocos estudados houve diferença significativa ao nível de 99%, com o bloco 2 ($5,56 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) mostrando-se superior aos blocos 1 ($2,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e 3 ($1,76 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) que não diferiram entre si, significando que a soma de bases varia entre os blocos. No povoamento florestal com pinus, o cálcio mostrou-se superior no bloco 2, enquanto que o Mg^{2+} e o K^+ não mostraram diferença entre os blocos. Assim, o valor da soma de bases superior para o bloco 2 foi influenciado, principalmente, pelo teor de Ca^{2+} neste ecossistema. Brum (2006) apresentou dados analíticos da composição de acículas de *P. elliotii*, sendo que o Ca^{2+} foi superior aos teores de K^+ e Mg^{2+} , apresentando $2,54 \text{ g kg}^{-1}$, $0,71 \text{ g kg}^{-1}$ e $1,21 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente.

Na Figura 50 estão representadas médias da soma de bases no povoamento com pinus, nas duas profundidades e cinco posições. Não houve significância para a posição, demonstrando a homogeneidade de SB dentro dos blocos.

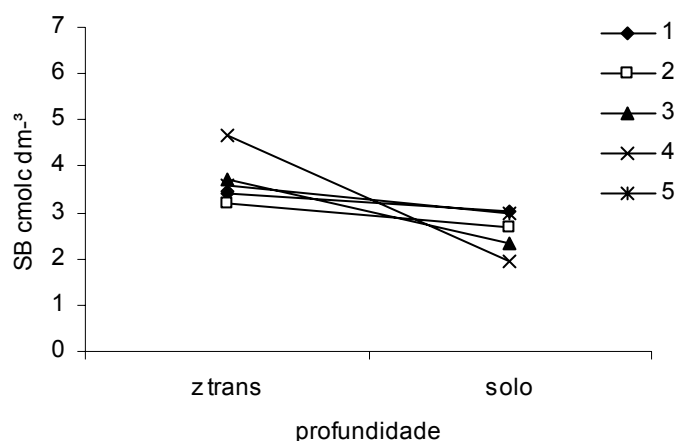


FIGURA 50 – Valores médios de Soma de bases ($\text{SB cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em povoamento com *P. taeda* em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

Não foi verificada, por meio de análise de variância, efeito significativo ao nível de 95% na interação da profundidade e posição sobre a soma de bases, a qual variou de forma equivalente espacialmente nas profundidades estudadas.

Comparação entre ecossistemas

Foi realizado o teste “t” de Student para comparar as médias da soma de bases entre a Floresta Ombrófila Mista e o povoamento com *P. taeda*. Foi verificada diferença significativa ao nível de 95% entre as médias na zona de transição e solo.

Na zona de transição a soma de bases para a Floresta Ombrófila Mista foi $5,78 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$, sendo superior e estatisticamente diferente do povoamento florestal com pinus, que apresentou SB igual a $3,72 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$; no solo os valores verificados foram $1,41 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ o qual foi inferior e diferiu do povoamento florestal com *P. taeda* que apresentou SB igual a $2,59 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$, respectivamente.

A Floresta Ombrófila Mista apresentou soma de bases maior na zona de transição, mostrando maior dinâmica no processo de ciclagem de nutrientes. Isto pode ter ocorrido em função da maior facilidade de decomposição da serapilheira, maior variabilidade do material depositado no solo, maior diversidade da vegetação neste sistema e, ainda, em função da menor disponibilidade de bases como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ no solo, em relação ao povoamento florestal com pinus. Novais e Poggiani (1983) pesquisaram os efeitos da consorciação entre uma espécie folhosa (*Liquidambar styraciflua*) e uma conífera (*Pinus caribaea var. hondurensis*) na ciclagem de nutrientes em florestas implantadas e verificaram que o povoamento misto evidenciou maior quantidade de Ca^{2+} e Mg^{2+} para a espécie folhosa, e o pinus apresentou as menores quantidades de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ .

No solo observou-se uma relação inversa para a soma de bases. O ecossistema pinus apresentou valor superior e diferiu estatisticamente da Floresta Ombrófila Mista. O solo da área com *P. taeda* é o Cambissolo Háplico alumínico distrófico e localiza-se em área plana, reduzindo as perdas por lixiviação. Para Bizon (2005) a soma de bases em um Cambissolo Háplico Tb

distrófico lítico sob floresta de *P. taeda* apresentou soma de bases igual a 9,8 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, valor bem superior ao observado no presente trabalho.

Na Figura 51 evidencia-se a maior variação entre solo e zona de transição para a Floresta Ombrófila Mista e uma variação menor para o povoamento florestal com pinus.

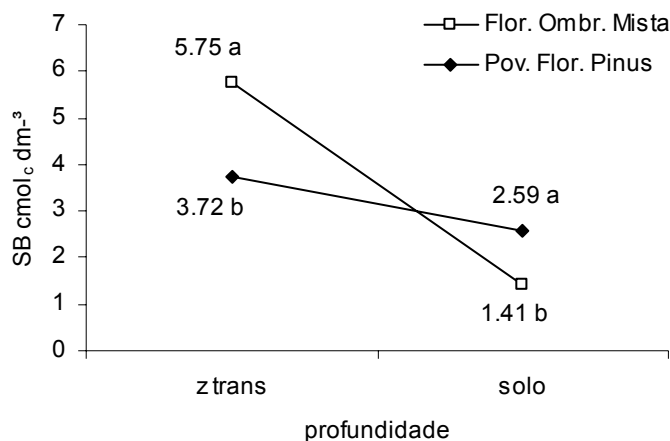


FIGURA 51 – Valores médios de Soma de bases ($\text{SB cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com *P. taeda*, em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

4.3.11 Capacidade de Troca de Cátions a pH 7,0 ou CTC Total ou T $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$

Floresta Ombrófila Mista

Os valores obtidos para CTC a pH 7,0 sob os fatores profundidade, bloco e posição. Houve diferença significativa entre os blocos e profundidades ao nível de 99% de probabilidade, significando que a capacidade de troca catiônica varia entre os blocos.

A CTC total foi maior para a zona de transição ($18,74 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e diferiu estatisticamente do solo ($14,06 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$). De acordo com Jorge (1983) e Brady (1983), uma característica físico-química da matéria orgânica decomposta é a sua alta capacidade de retenção de cátions, sendo 2 a 20 vezes maior do que a encontrada nas argilas. Assim, em função do maior teor de MO na zona de transição a CTC, nesta camada, também é maior do que a encontrada no solo.

Moreira e Silva (2004) verificaram CTC maior no horizonte A de $6,91 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e no horizonte subsequente de $5,44 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, em área reflorestada, confirmando os resultados obtidos.

Entre os blocos estudados observou-se que a CTC no bloco 1 $18,79 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ que diferiu estatisticamente dos blocos 2 e 3, que apresentaram $16,04 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $14,40 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. É importante observar que este resultado está vinculado ao H+Al, que foi superior no bloco 1 (15,23) enquanto que o bloco 3 apresentou os valores mais altos de Ca^{2+} e Mg^{2+} e o menor valor de H+Al (9,41). No bloco 1, em função dos menores valores de Ca e Mg e do valor relativamente elevado de H+Al pode ocorrer limitações para a vegetação.

Na Figura 52 estão representadas médias da CTC na Floresta Ombrófila Mista, nas duas profundidades e cinco posições, evidenciando a maior CTC na zona de transição. Não foram observadas diferenças entre as posições. Devido a este fato, verifica-se a homogeneidade dentro dos blocos, demonstrando que a distribuição na profundidade e posição foi equivalente.

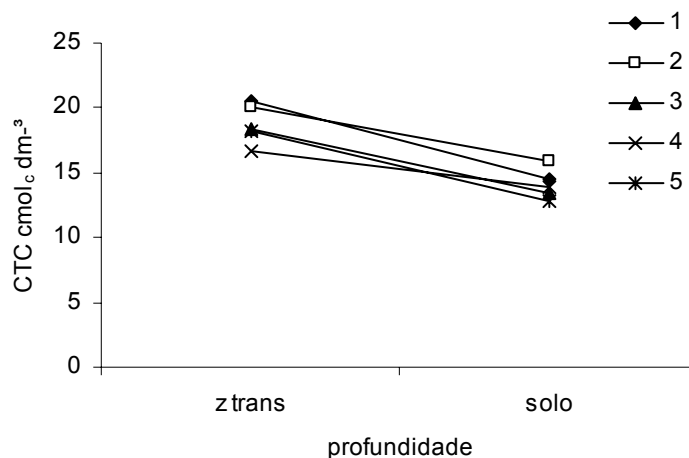


FIGURA 52 – Valores médios de Capacidade de Troca Catiônica (CTC $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

Povoamento florestal com *P. taeda*.

A CTC total foi maior para a zona de transição ($20,64 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e diferiu estatisticamente do solo ($14,38 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). O maior teor de MO na

zona de transição é o responsável pela maior CTC nesta camada. Estes resultados são confirmados por Bizon (2005) que encontrou valores de CTC variando de $6,6 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ a $15,9 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ no horizonte de A de oito diferentes solos sob o cultivo de *P. taeda*, enquanto na camada subsequente a CTC variou 4,3 a $11,2 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$, sempre abaixo daquela observada no horizonte A ou orgânico. Não houve significância para a posição e blocos (18,44, 16,80 e $17,14 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$, blocos 1, 2 e 3, respectivamente) demonstrando a homogeneidade da CTC entre e dentro dos blocos.

Na Figura 53 estão representadas médias da capacidade de troca de cátions no povoamento florestal com pinus, nas duas profundidades e cinco posições.

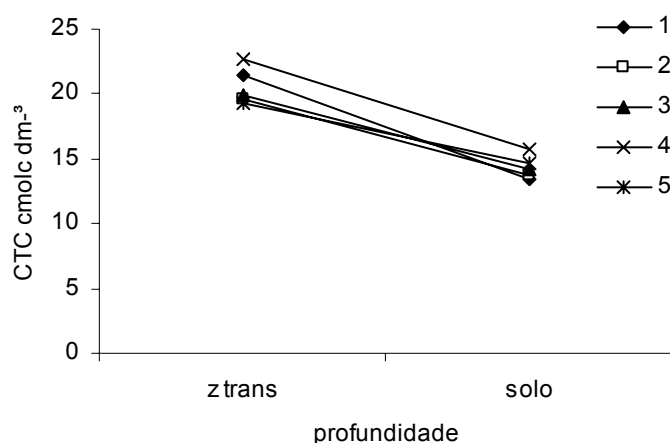


FIGURA 53 – Valores médios de Capacidade de Troca Catiônica (CTC $\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) em povoamento florestal com *P. taeda* em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR

No povoamento com pinus verifica-se a pequena variação na CTC nas posições, conforme Figura 53, entretanto é confirmada a diferença estatística observada na análise de variância entre as profundidades. Pode-se inferir que existem diferenças entre ecossistemas naturais e plantados e que fatores como tipo de solo, qualidade e quantidade da serapilheira, declividade, diversidade vegetal influenciam a ciclagem de nutrientes e sua disponibilidade no solo.

Não foi verificada, por meio de análise de variância, efeito significativo ao nível de 95%, na interação da profundidade e posição sobre a CTC, que variou equivalente espacialmente nas profundidades estudadas.

Comparação entre ecossistemas

Foi realizado o teste “*t*” de Student para comparar as médias entre a CTC na Floresta Ombrófila Mista e no povoamento florestal com pinus em cada profundidade. Não foi verificada diferença significativa ao nível de 95% entre as médias na zona de transição com 18,74 p e 20,64 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente e no solo, 14,06 p e 14,38 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ respectivamente (Figura 54).

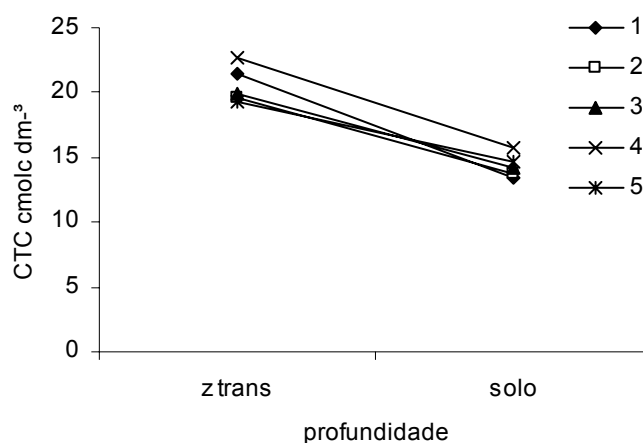


FIGURA 54 – Valores médios de Capacidade de Troca de Cátions ($\text{CTC cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com *P. taeda*, em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

Embora não sejam verificadas diferenças significativas entre os ecossistemas estudados, deve-se considerar que o povoamento com pinus apresentou maior quantidade de $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ($16,92 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e Al^{3+} ($3,03 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$) para a zona de transição do que o ecossistema Floresta Ombrófila Mista. Além disso, apresentou menores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+}

4.3.12 Saturação por Bases V%

Floresta Ombrófila Mista

A saturação por bases (V%) foi estudada sob os fatores profundidade, bloco e posição, verificando-se que houve diferença significativa entre os blocos e profundidades ao nível de 99% de probabilidade, significando que o V% varia entre os blocos.

A saturação por bases fornece informações sobre a ocupação das cargas da CTC total, ou seja, do total de cargas negativas existentes no solo e a proporção ocupada pelos cátions úteis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+). Na zona de transição a saturação por bases foi igual a 32,27% e no solo foi igual a 10,12%, diferindo estatisticamente entre si. Apesar desta diferença, de acordo com Tomé Jr (1997). os solos de ambos os ecossistemas são considerados distróficos (pouco férteis), por apresentarem V% inferior a 50%. Estes resultados são coerentes com a descrição dos solos da área de estudo, que apresentam elevada acidez e baixa fertilidade, mas com elevados teores de matéria orgânica na superfície. Os valores verificados foram 32,38% para o bloco 3 que foi estatisticamente superior aos blocos 1 e 3 que apresentaram 17,55% e 13,65%, respectivamente.

Não houve significância para a posição, demonstrando a homogeneidade de V% dentro dos blocos. Na Figura 55 estão representadas médias de V% na Floresta Ombrófila Mista, nas duas profundidades e cinco posições.

Observando-se a Figura 55, com relação à Floresta Ombrófila Mista, é possível verificar a diferença evidenciada na análise de variância para a profundidade.

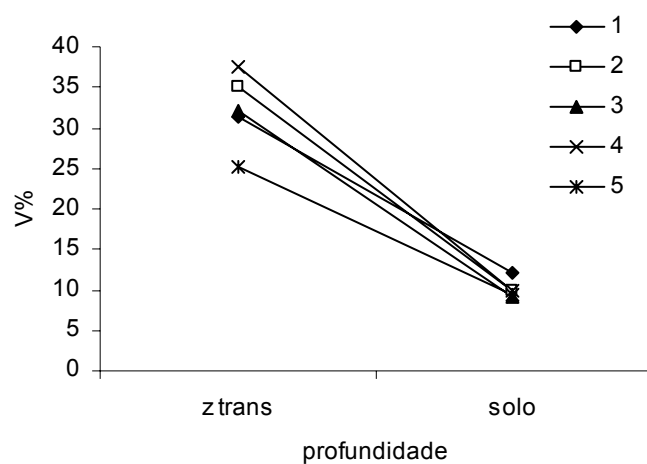


FIGURA 55 – Valores médios de Saturação por Bases (V%) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR

Povoamento florestal com *P. taeda*.

Os valores obtidos para saturação de bases mostrou diferença significativa entre os blocos ao nível de 99%, significando que o V% varia entre os blocos. Na Figura 56 estão representadas médias de V% no povoamento florestal com pinus, nas duas profundidades e cinco posições.

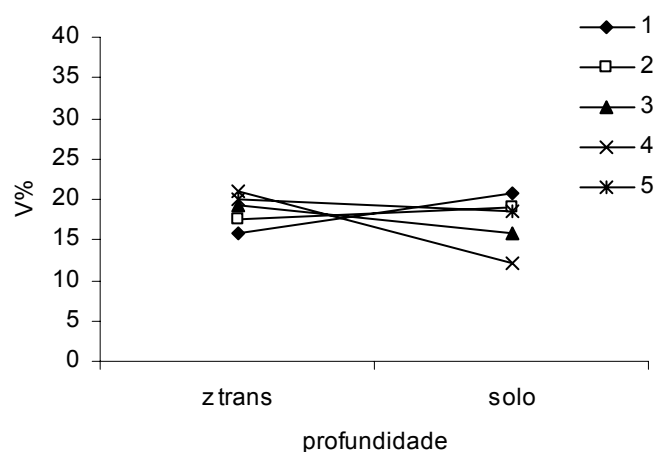


FIGURA 56 – Valores médios de Saturação por Bases (V%) em povoamento com *P. taeda* em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR

O bloco 2 apresentou a maior saturação por bases (32,27%), diferindo dos blocos 3 e 1, que apresentaram 12,92% e 8,73%. O bloco 2 do povoamento de *P. taeda* apresentou os maiores valores de Ca e Mg, sendo o Ca o principal responsável pelo maior valor de saturação de bases. Não houve significância para a profundidade e posição, demonstrando a homogeneidade de V% dentro dos blocos. A saturação por bases na zona de transição e solo foram 18,72% e 17,22%, não diferindo entre si estatisticamente.

No povoamento florestal com pinus verifica-se a variação no V% nas posições, conforme Figura 56, bem como é confirmada a igualdade estatística observada na análise de variância entre as profundidades.

Não foi verificada, por meio de análise de variância, efeito significativo ao nível de 95%, na interação da profundidade e posição sobre o V%, ou seja, o V% variou equivalente espacialmente nas profundidades estudadas.

Comparação entre ecossistemas

Foi realizado o teste “t” de Student para comparar as médias de saturação por bases (V%) na Floresta Ombrófila Mista e o povoamento florestal com *P. taeda* em cada profundidade. Foi verificada diferença significativa ao nível de 95% entre as médias na zona de transição 30,68% e 18,02% e solo 10,03% e 15,04%, para a Floresta Ombrófila Mista e o povoamento florestal com pinus (Figura 57).

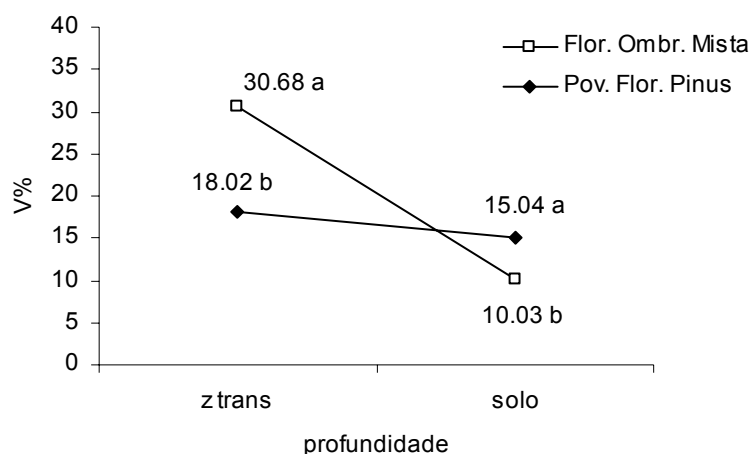


FIGURA 57 – Valores médios de Saturação por Bases – V% em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com *P. taeda*, em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

Na zona de transição, a Floresta Ombrófila Mista apresentou os maiores teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , além do menor valor de $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ em relação ao povoamento florestal com pinus; no solo os maiores teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ e o menor valor de $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$.

O processo de ciclagem de maior dinamismo observado na Floresta Ombrófila Mista pode ser também resultante da menor fertilidade no solo em relação ao povoamento com pinus.

4.3.13 Saturação por Alumínio - m%

Floresta Ombrófila Mista

Os resultados apresentaram diferença significativa entre os blocos e profundidades ao nível de 99% de probabilidade, significando que o m% varia entre os blocos.

O menor valor de saturação por Al foi observado na zona de transição com m% igual a 25,16% e para o solo de 71,54%. Conforme discutido para o teor de alumínio, a matéria orgânica pode complexar o alumínio e assim, embora a acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$) seja muito próxima para o solo e a zona de transição, o Al se destaca mais, em função do menor teor de MO no solo.

O trabalho desenvolvido por Mehlich (1942), em solos com presença de material orgânico em diferentes proporções, deixa claro que o comportamento não é linear e a correlação muda com os diferentes minerais presentes em conjunto com o material orgânico, sendo que um solo de turfa tem um comportamento diferente de um ácido húmico. Essa diferença pode ser atribuída ao tamanho da superfície específica e atividade diferenciada dos diferentes constituintes do solo, prevalecendo os de maior superfície e maior atividade.

Os blocos 2 e 1 não diferiram estatisticamente entre si e apresentaram a maior saturação por alumínio, 60,01% e 51,24% e estas diferiram do bloco 3, que apresentou 33,81%. O bloco 3 apresentou o menor teor de Al e o menor grau de saturação por alumínio. Tudo indica que pode estar relacionado ao menor grau de intemperismo do solo, uma vez que está localizada na região

mais alta do relevo da área de estudo. De forma geral, as micas hidratadas (2:1) aparentemente representam os estágios mais primários do intemperismo das argilas silicatadas, enquanto a caulinita (1:1) aparenta ser a mais avançada e a montmorilonita ocupa o estágio intermediário (2:1), sendo que as argilas 2:1 são as que apresentam maior atividade (BRADY, 1983). Comparando-se argilas 2:1 e 1:1, a primeira é a que tem maior número de cargas permanentes, tendo apenas de 5 a 10% de cargas dependentes de pH, e possibilitam o acesso de cátions a posições de troca existentes entre unidades adjacentes. Suas partículas unitárias são de menor tamanho, o que implica numa superfície específica maior, conseqüentemente maior CTC, considerando também maior densidade de carga, que é maior por unidade de área.

A argila 1:1 praticamente não apresenta substituições isomórficas, não possibilita a acessibilidade interna de cátions e suas partículas são maiores do que a de outros minerais, logo, menor CTC, resultante principalmente das cargas dependentes de pH (MELLO, 1983; TISDALE; NELSON; BEATON, 1985). Entre os blocos não foram verificadas diferenças entre as quantidades de argila, mas deve-se considerar a possibilidade destas argilas serem compostas por diferentes minerais, resultando na variabilidade observada.

Na Figura 58 estão representadas médias de m% na Floresta Ombrófila Mista, nas duas profundidades e cinco posições. Não houve significância para a posição, demonstrando a homogeneidade de m% dentro dos blocos.

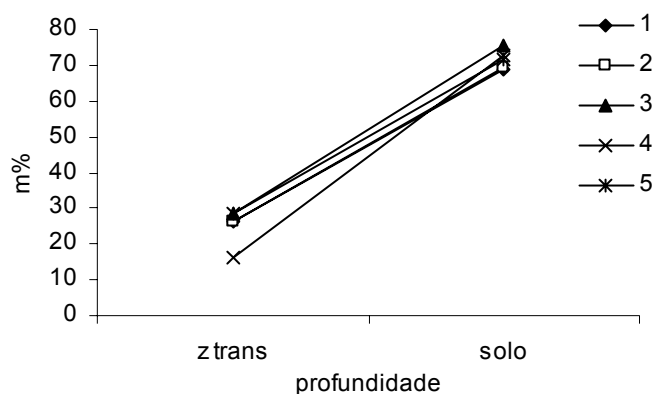


FIGURA 58 – Valores médios de Saturação por Alumínio (m%) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

Observando-se a Figura 58, com relação à Floresta Ombrófila Mista, é possível verificar a diferença evidenciada na análise de variância entre as profundidades, bem como a tendência para o m%.

Povoamento florestal com *P. taeda*.

Os valores de saturação de alumínio (m%) sob os fatores profundidade, bloco e posições, apresentaram diferenças estatísticas entre os blocos e profundidades ao nível de 99% de probabilidade. A zona de transição apresentou a menor saturação por alumínio com 41,63% e o solo com 57,70%, seguindo o mesmo padrão da Floresta Ombrófila Mista.

Em relação aos blocos, o bloco 1 (70,50%) mostrou maior saturação por alumínio e não diferiu do bloco 3 (59,26%), enquanto que o bloco 2 (19,22%) foi menor e estatisticamente diferente dos demais. Observando a análise granulométrica para o pinus, observa-se que o bloco 2 apresentou a menor quantidade de areia e maior quantidade de silte (43,89%), representando o principal constituinte do solo neste bloco. O silte apresenta maior atividade que a areia e menor do que a argila, neste caso, essa maior quantidade poderia auxiliar na retenção de cátions como o cálcio e fixação do alumínio. O menor teor de areia neste bloco também pode ter auxiliado na redução da lixiviação de bases. Conforme Vitousek e Stanford (1986) e Whitmore (1998) afirmam que os solos arenosos, principalmente, são conhecidos por sua baixa fertilidade, devido à alta lixiviação e intemperismo (VITOUSEK; STANFORD, 1986).

Na Figura 59 estão apresentados os valores m% no povoamento florestal com pinus, nas duas profundidades e cinco posições. Não houve significância para a posição, demonstrando a homogeneidade de m% dentro dos blocos.

No povoamento florestal com pinus verifica-se a maior variação no m% nas posições no solo, conforme Figura 59, entretanto é confirmada a diferença estatística observada na análise de variância entre as profundidades.

Não foi verificado, por meio de análise de variância, efeito significativo ao nível de 95%, na interação da profundidade e posição sobre o m%. Nas profundidades estudadas ocorre uma variação equivalente espacialmente.

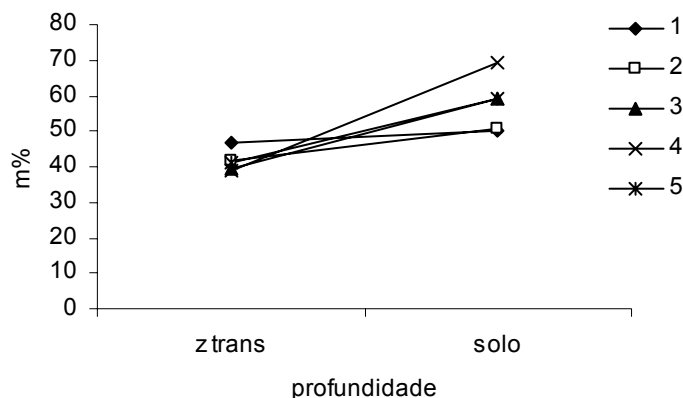


FIGURA 59 – Valores médios de Saturação por Alumínio (m%) em povoamento florestal com *P. taeda* em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR

Comparação entre ecossistemas

Foi realizado o teste “*t*” de Student para comparar as médias entre de m% na Floresta Ombrófila Mista e no povoamento florestal com pinus em cada profundidade (Figura 60). Foi verificada diferença significativa ao nível de 95% entre as médias na zona de transição (25,17% e 41,63%, respectivamente), entretanto não foi observado esse resultado no solo (71,54% e 57,70%, respectivamente).

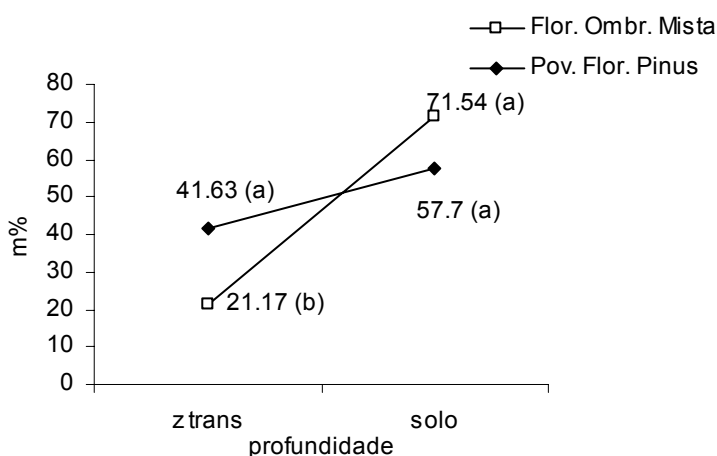


FIGURA 60 – Valores médios de Saturação por Alumínio (m%) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com *P. taeda*, em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

A menor saturação por alumínio foi observada para a zona de transição na Floresta Ombrófila Mista, sendo consequência dos maiores teores de bases verificados, ao longo deste estudo.

• **Síntese dos resultados da variável fertilidade química**

Floresta Ombrófila Mista

< acidez no B3

> acidez na Zona de Transição

> quantidade de Al no B1 e B2

> quantidade de Al no solo

Profundidade (cmol_c dm⁻³)

- Ca²⁺ + Mg²⁺ > z. trans
- Ca²⁺ > z. trans
- Mg²⁺ > z. trans
- K⁺ > z. trans
- SB > z. trans
- T(CTC) > z. trans

Profundidade

- P (mg dm⁻³) > z. trans
- MO (g dm⁻³) > z. trans
- V% (sat-bases) > z. trans
- m% (sat. Al) > solo

Floresta Ombrófila Mista

Blocos (cmol_c dm⁻³)

- Ca²⁺ + Mg²⁺ > bloco 3
- Ca²⁺ > bloco 3
- Mg²⁺ > bloco 3 e 1
- K⁺ > não significativa
- SB > bloco 3
- T(CTC) > bloco 1

- P (mg dm⁻³) > não significativa

Blocos

- MO (g dm⁻³) > não significativa
- V%(sat-bases) > bloco 3
- m% (sat. Al) < bloco 3

Povoamento florestal com *P. taeda*

< acidez no B2

> acidez na Zona de Transição

< quantidade de Al no B2

Profundidade (cmol_c dm⁻³)

- Ca²⁺ + Mg²⁺ > z. trans
- Ca²⁺ > z. trans
- Mg²⁺ não significativa
- K⁺ > z. trans
- SB > z. trans
- T(CTC) > z. trans

Profundidade

- P (mg dm⁻³) > z. trans
- MO (g dm⁻³) > z. trans
- V% (sat-bases) não significativa
- m% (sat. Al) > solo

Povoamento Florestal com *P. taeda*

Blocos (cmol_c dm⁻³)

- Ca²⁺ + Mg²⁺ > bloco 2
- Ca²⁺ > bloco 2
- Mg²⁺ > não significativa
- K⁺ > não significativa
- SB > bloco 2
- T(CTC) > não significativa

- P (mg dm⁻³) > bloco 2

Blocos

- MO (g dm⁻³) > não significativa
- V%(sat-bases) > bloco 2
- m% (sat. Al) < bloco 2

- **Síntese dos resultados da comparação de médias entre ecossistemas para a variável fertilidade química**

Floresta Ombrófila Mista			Povoamento Florestal com <i>P. taeda</i>		
pH	3,97	> Pov. pinus	pH	3,88	< F.O.M.
(H ⁺ +Al ³⁺)	13,82	< Pov. pinus	(H ⁺ + Al ³⁺)	14,33	> F.O.M.
Al ³⁺	2,59	< Pov. pinus	Al ³⁺	2,76	> F.O.M.
Ca ²⁺	1,57	< Pov. pinus	Ca ²⁺	1,81	> F.O.M.
Mg ²⁺	1,75	> Pov. pinus	Mg ²⁺	1,18	< F.O.M.
K ⁺	0,25	> Pov. pinus	K ⁺	0,19	< F.O.M.
P	18,36	> Pov. pinus	P	17,86	< F.O.M.
M.O.	130,86	< Pov. pinus	M.O.	214,39	> F.O.M.

4.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EM SOLOS SOB FLORESTAS

4.4.1 Areia % (2,0 - 0,02- mm)

Floresta Ombrófila Mista

O teor de areia foi determinado sob os fatores bloco, profundidade e posição. Foi observada diferença significativa entre as profundidades ao nível de 99%, sendo que o solo apresentou 32,25% de areia e foi superior ao verificado na zona de transição 24,08%. Estes resultados são devidos à própria amostragem, onde se objetivou coletar apenas a parte referente ao horizonte F, composto principalmente de resíduos orgânicos em fase de decomposição.

Não foram observadas diferenças entre os blocos 1, 2 e 3, com 32,99%; 27,72% e 23,78%, respectivamente, e posições estudadas, mostrando a homogeneidade entre e dentro dos blocos. A Figura 61 apresenta os valores do teor de areia na Floresta Ombrófila Mista, em duas profundidades e cinco posições.

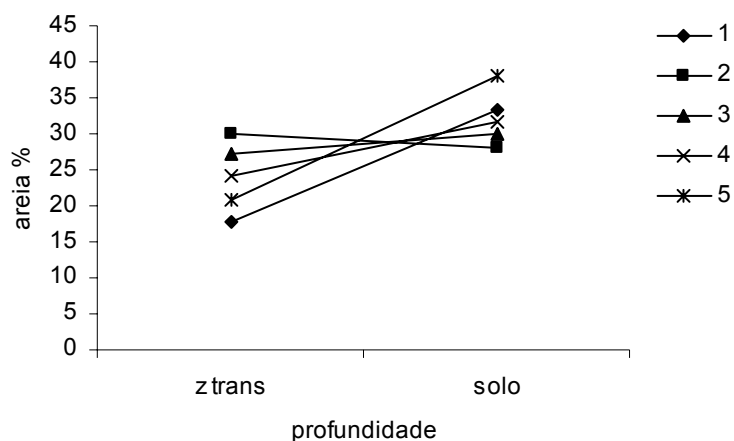


FIGURA 61 – Distribuição da fração média de areia (%) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR

Povoamento florestal com *P. taeda*.

O povoamento florestal com *P. taeda* teve o teor de areia determinado sob os fatores bloco, profundidade e posição. A maior fração de areia foi observada no solo, como ocorreu na Floresta Ombrófila Mista. Os valores obtidos foram 24,69% e 37,31% para a zona de transição e solo, respectivamente, que diferiram ao nível de 99%.

O menor valor da fração areia foi obtido para o bloco 2, que apresentou 23,87% e diferiu estatisticamente ao nível de 99% dos blocos 1 e 3, que apresentaram 35,41% e 33,73%, respectivamente.

Na Figura 62 estão representados os valores da fração areia no povoamento florestal com pinus, nas duas profundidades e cinco posições. Não houve significância para a posição, demonstrando a homogeneidade da fração areia dentro dos blocos.

Não foi verificada, por meio de análise de variância, efeito significativo ao nível de 95%, na interação da profundidade e posição sobre a fração areia, sendo que a variação espacial foi equivalente

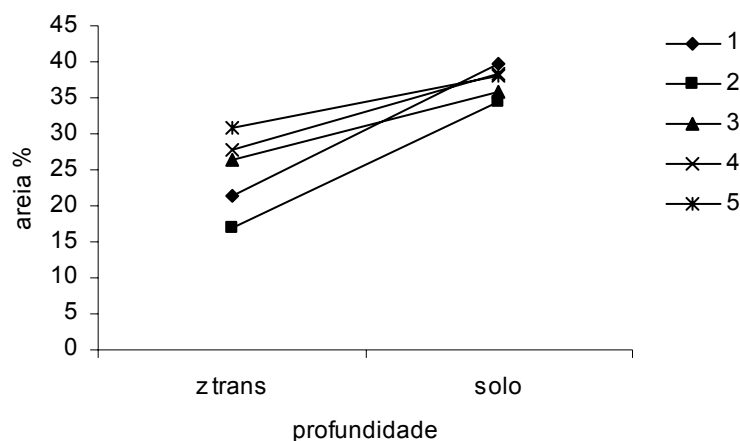


FIGURA 62 – Distribuição da fração média de areia (%) em povoamento com *P. taeda* em cinco posições e duas profundidades, Tijucas do Sul/PR

Comparação entre ecossistemas

Foi realizado o teste “t” de Student para comparar as médias da fração areia para a Floresta Ombrófila Mista e o povoamento com *P. taeda*. Não foi verificada diferença significativa ao nível de 95% entre os valores obtidos para a zona de transição (24,37% e 24,69%, respectivamente) e sim no solo (30,65% e 37,31%, respectivamente) (Figura 63).

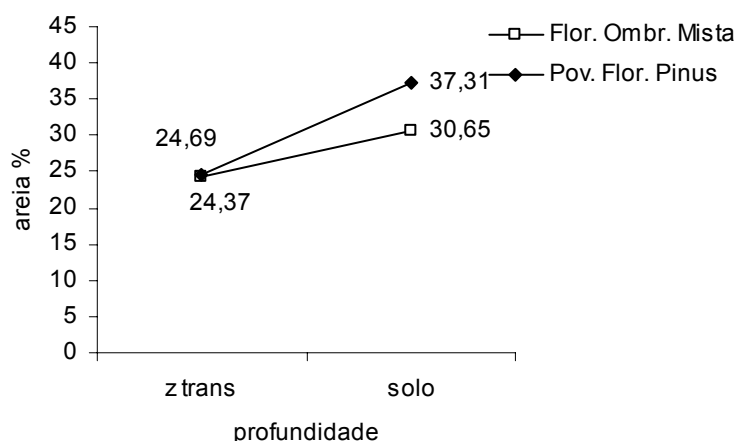


FIGURA 63 – Distribuição da fração média de areia (%) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com *P. taeda*, em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR.

O povoamento florestal com *P. taeda* apresentou teor superior e diferiu estatisticamente para o teor de areia no solo quando comparado ao obtido na Floresta Ombrófila Mista.

4.4.2 Silte% (0,02 mm – 0,002 mm)

Floresta Ombrófila Mista

A fração silte foi estudada sob os fatores profundidade, bloco e posição. Na Figura 64 estão representadas médias da fração silte na Floresta Ombrófila Mista, nas duas profundidades e cinco posições. Houve diferença significativa entre as profundidades e blocos ao nível de 95% e 99% de probabilidade, respectivamente, significando que a fração silte varia entre os blocos.

A zona de transição apresentou 66,39% de silte, sendo superior ao observado no solo de 28,05%. Por tratar-se área de acumulação é possível que este material tenha sido transportado pelas águas da chuva e depositado entre as camadas de serapilheira de acículas, ao longo dos anos.

Em relação aos blocos, o maior acúmulo de silte foi obtido no bloco 2 (50,53%), localizada na meia encosta, e diferiu estatisticamente do bloco 1 (41,87%), que não apresentou diferença do bloco 3 (49,27%). Este resultado mostrou-se divergente ao esperado, porque a área plana, localizada na parte mais baixa do terreno (bloco 1) poderia apresentar maior quantidade de material acumulado em função do transporte pela água da chuva.

Entretanto, deve-se considerar que outros fatores podem ter favorecido a retenção de material no bloco 2, tais como dossel vegetal mais denso do que o bloco que se situa no topo da colina (bloco 3), controlando o impacto e o escoamento de água e nutrientes e decomposição das raízes das plantas que, formando canalículos no solo, aumentam a infiltração da água e a seleção granulométrica devido à diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada ou impactos expostos como no caso do bloco 3, pelo aumento do atritamento que ocorre nas cotas topográficas mais altas e a maior quantidade de matéria orgânica que se origina da cobertura vegetal.

Terrenos com menor número de árvores mostram comportamento diferente devido às diferentes densidades e espécies vegetais no processo de carregamento, porque ficam menos cobertos, fazendo desprender e salpicar as partículas de solo, transportando o silte através da água com maior facilidade.

Não houve significância para a posição, demonstrando a homogeneidade da fração silte dentro dos blocos (Figura 64).

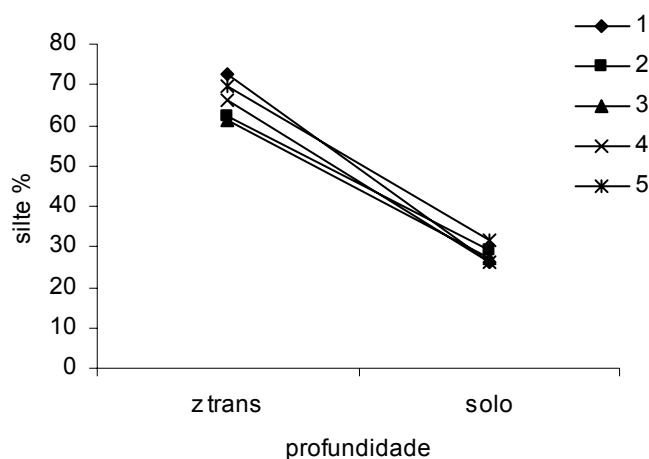


FIGURA 64 – Distribuição da fração média de silte (%) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR

Povoamento florestal com *P. taeda*.

A fração silte no povoamento florestal com *P. taeda* apresentou 53,12% de silte na zona de transição, sendo superior ao observado no solo que resultou em 17,79%. Por ser área de acumulação, é possível que este material tenha sido transportado pelas águas da chuva e depositado entre as camadas de serapilheira de acículas, ao longo dos anos.

Em relação aos blocos, o maior acúmulo de silte foi obtido no bloco 2 (43,89%) e diferiu estatisticamente dos blocos 3 (33,46%) e 1 (29,01%), coincidentemente o bloco 2 apresentou maior quantidade de cálcio, fósforo, matéria orgânica, soma de bases, saturação por bases e menor saturação por alumínio. Por meio do diagnóstico visual da área pode-se considerá-la plana e homogênea. Entretanto, percorrendo a área percebe-se irregularidades no terreno que poderiam estar favorecendo a deposição do silte nesse bloco. Além

disso, deve-se considerar o transporte vertical da argila, que tem a menor granulometria, pelas águas da chuva e deposição sobre o solo e já não faz mais parte da zona de transição. Enquanto que o silte, por ser maior que a argila, fica retido no material da zona de transição. Não houve significância para a posição, demonstrando a homogeneidade da fração silte dentro dos blocos (Figura 65).

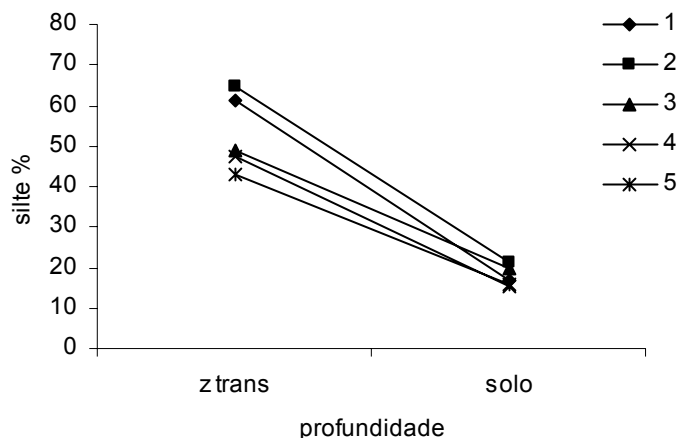


FIGURA 65 – Distribuição da fração média de silte (%) em povoamento florestal com *P. taeda* em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR

Não foi verificada, por meio de análise de variância, efeito significativo ao nível de 95%, na interação da profundidade e posição sobre a fração silte, que variou na espacialização de forma equivalente nas profundidades estudadas.

Comparação entre ecossistemas

Foi realizado o teste “t” de Student para comparar as médias da fração silte entre os ecossistemas Floresta Ombrófila Mista e no povoamento com pinus em cada profundidade. Foi verificada diferença significativa ao nível de 99% entre as médias na zona de transição com 66,39% e 53,12%, e no solo 28,05% e 17,79%, para a Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com pinus, respectivamente (Figura 66).

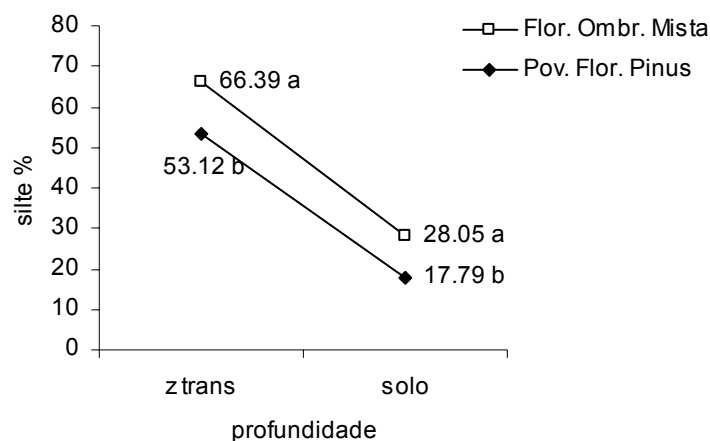


FIGURA 66 – Distribuição da fração média de silte (%) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com *P. taeda*, em duas profundidades, Tijucas do Sul/PR

4.4.3 Argila% (< 0,002 mm)

Floresta Ombrófila Mista

Os valores obtidos para o teor de argila na Floresta Ombrófila Mista foram estudados sob os fatores bloco, profundidade e posição. Houve diferença significativa entre as profundidades ao nível de 99% de probabilidade, sendo que a maior fração de argila foi observada no solo com 41,30% e a fração de argila na zona de transição apresentou 9,51%.

Não houve significância estatística entre os blocos e a posição, mostrando que as camadas não diferiram espacialmente neste ecossistema, possivelmente devido aos materiais de origem, condições bioclimáticas e a idade do solo, demonstrando, assim, a homogeneidade da fração argila entre e dentro dos blocos, apesar de tipos de solos diferentes, as quantidades da argila não variaram. Deve-se considerar ainda que a amostragem foi feita em camadas pouco espessa, portanto, não mostrando as reais diferenças que poderiam ocorrer nas diferentes toposequências. Os valores para os blocos 1, 2 e 3 foram 25,13%; 25,67% e 25,41%, respectivamente. No entanto, de acordo com Resende, Cury e Santana (1989), pode haver variações na profundidade em relação à composição mineralógica, riqueza em nutrientes, capacidade de

retenção de água, porosidade, entre outras. Assim como foi observado neste trabalho, que apresentou 41,30% de argila no solo, e na zona de transição 9,51%. Isto significa que as profundidades do "solum"(horizonte A + B) podem ser diferentes, mesmo quando a topografia é a mesma, dependendo da atividade do bioclima e da resistência da rocha, influenciando na distribuição espacial vertical ou expressão geográfica dos diferentes tipos de argila existentes naquele momento.

Na Figura 67 estão representadas médias da fração argila na Floresta Ombrófila Mista, nas duas profundidades e cinco posições.

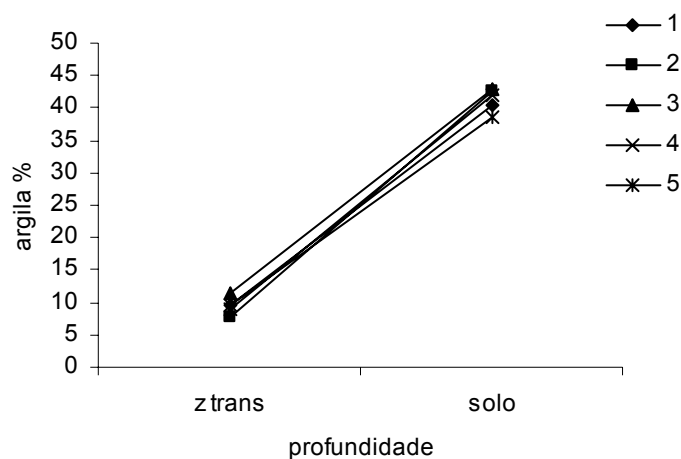


FIGURA 67 – Distribuição da fração média de argila (%) em Floresta Ombrófila Mista em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR

Povoamento florestal com *P. taeda*.

A fração argila foi menor e estatisticamente diferente ao nível de 99% na zona de transição e apresentou 22,17%, enquanto que no solo o valor obtido foi 44,89%. Não foram observadas diferenças entre os blocos 1, 2 e 3, que apresentaram 35,58%, 32,23% e 32,80%, respectivamente.

Na Figura 68 estão representadas as médias da fração argila no povoamento com pinus, nas duas profundidades e cinco posições. Não foram observadas diferenças significativas entre posições, demonstrando a homogeneidade da fração argila espacialmente.

Não foi verificado, por meio de análise de variância, efeito significativo ao nível de 95%, na interação da profundidade e posição sobre a fração argila, que variou de forma similar nas profundidades estudadas em relação às posições.

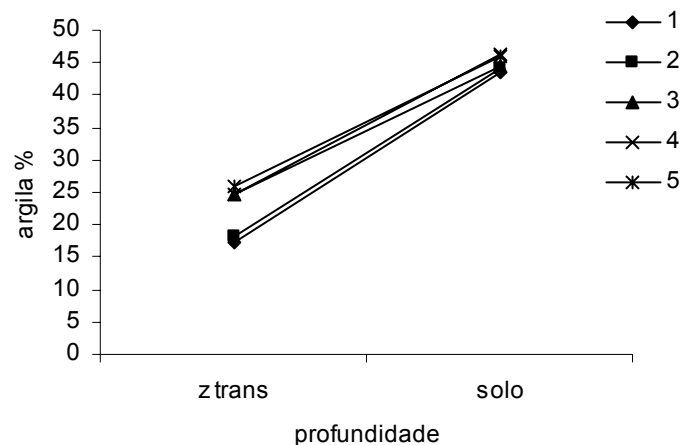


FIGURA 68 – Distribuição da fração média de argila (%) em povoamento com *P. taeda* em cinco posições e duas profundidades em Tijucas do Sul/PR

Comparação entre ecossistemas

Foi realizado o teste “t” de Student para comparar as médias da fração argila para os ecossistemas Floresta Ombrófila Mista e povoamento com *P. taeda*. Foi verificada diferença significativa ao nível de 99% entre as médias observadas na zona de transição de 9,51% e 22,17% e a 95% no solo com 41,30% e 44,90%, para a Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com pinus, respectivamente (Figura 69).

O povoamento florestal com *P. taeda* está localizada na área mais baixa do relevo, portanto os teores mais elevados de argila neste ecossistema se devem provavelmente à deposição de partículas carregadas pelas águas da chuva. As diferenças dos solos que variam com a topografia se devem a combinação do microclima, pedogênese e processos de intemperização.

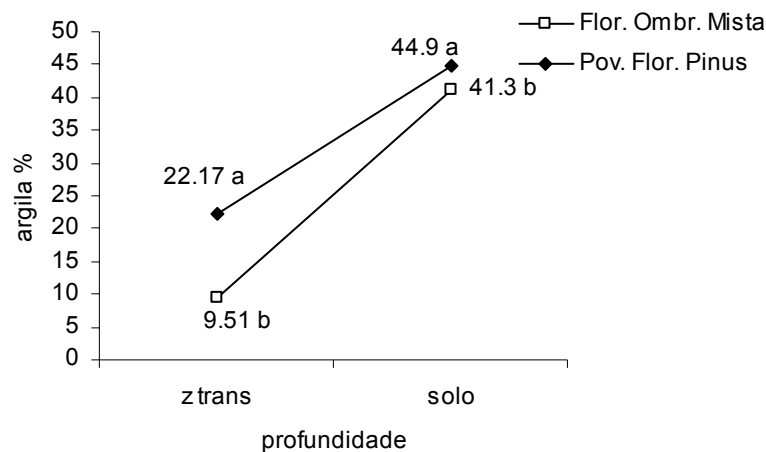


FIGURA 69 – Distribuição da fração média de argila (%) em dois ecossistemas, Floresta Ombrófila Mista e povoamento com *P. taeda*, em duas profundidades em Tijucas do Sul/PR

4.4.4 Comparação entre os teores de areia, silte e argila

As características físicas na zona de transição e solo para a Floresta Ombrófila Mista estão apresentadas na Figura 70. Observa-se que a fração silte foi a principal fração granulométrica na zona de transição, enquanto que no solo a principal fração foi a argila. As percentagens observadas na zona de transição e solo da fração areia foram semelhantes entre si.

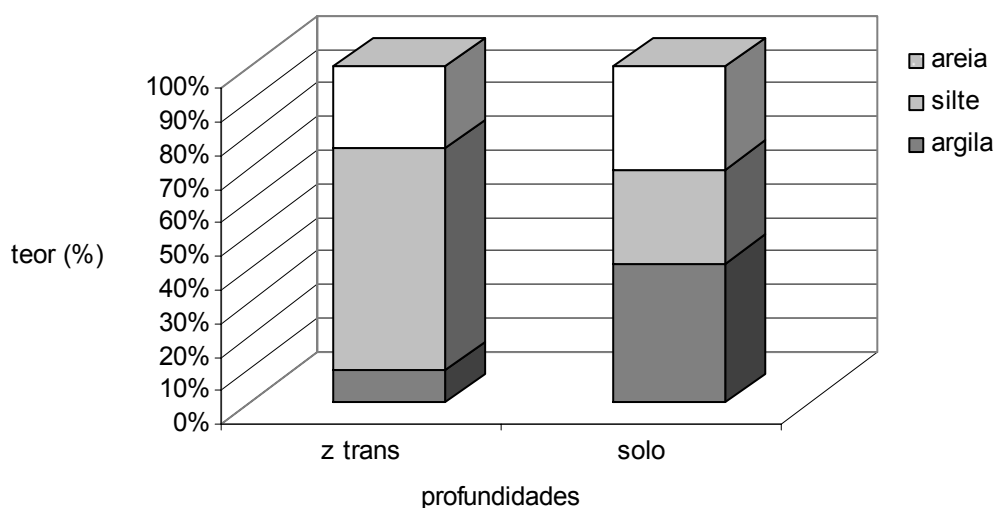


FIGURA 70 – Características físicas da zona de transição e solo em Floresta Ombrófila Mista em Tijucas do Sul/PR.

As características físicas na zona de transição e solo para o povoamento florestal com *P. taeda* estão apresentadas na Figura 71.

De forma similar à observada para a Floresta Ombrófila Mista, destaca-se que o silte foi a principal fração granulométrica na zona de transição, enquanto que no solo a principal fração foi a argila. As percentagens observadas na zona de transição e solo da fração areia foram semelhantes entre si.

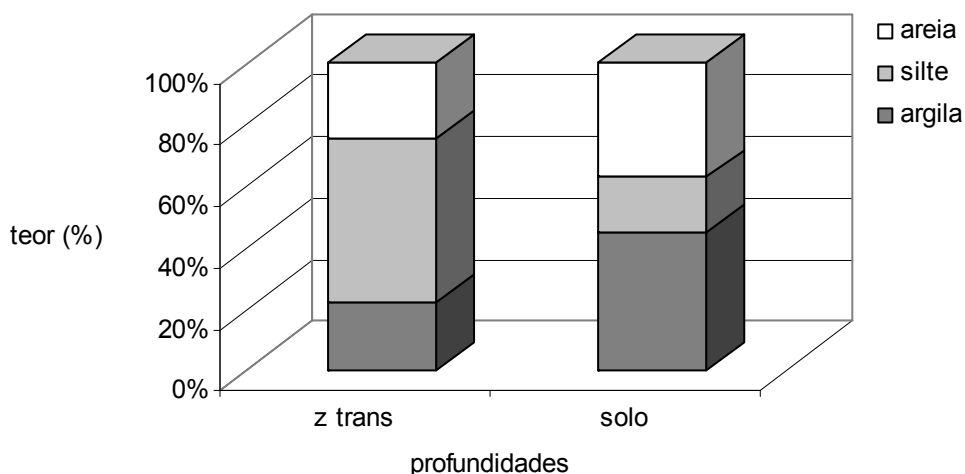


FIGURA 71 – Características físicas da zona de transição e solo em povoamento florestal com *P. taeda* em Tijucas do Sul/PR.

• Síntese dos resultado da variável umidade

Floresta Ombrófila Mista		Povoamento florestal com <i>P. taeda</i>	
	Profundidade		Profundidade
• Areia	> no solo	• Areia	> no solo
• Silte	> na zona de transição	• Silte	> na zona de transição
• Argila	> no solo	• Argila	> no solo
	Bloco		Bloco
• Areia	não significativa	• Areia	< no Bloco 2
• Silte	> no Bloco 2	• Silte	> no Bloco 2
• Argila	não significativa	• Argila	não significativa

- **Síntese dos resultados da comparação de médias entre ecossistemas para a variável fertilidade: características físicas**

Floresta Ombrófila Mista		Povoamento florestal com <i>P. taeda</i>	
Silte (0,02 - 0,002mm)	> teor no solo e na z. de transição	Areia (2,0 - 0,02 mm)	> teor no solo
		Argila (> 0,002 mm)	> teor no solo e na z. de transição

4.4.5 Análise da Fertilidade Química

O diagnóstico da fertilidade do solo foi feito seguindo-se o enquadramento dos resultados do solo. A interpretação dos resultados analíticos foi feita por faixas de teores na seguinte seqüência: indicadores de acidez (pH), teores de P, K⁺ Ca²⁺, Mg²⁺ e matéria orgânica no solo. O grau de detalhamento das faixas foi determinado com base na importância regional.

Na Tabela 11 estão mostrados os valores que serviram para a interpretação dos dados. Na Tabela 12 estão apresentada a diferença entre ecossistemas para a zona de transição e o solo. A partir dessas análises foi feito o estudo da fertilidade da zona de transição e do solo. Para ambos os ecossistemas a acidez na zona de transição é classificada como muito alta e no solo alta. Em solos com pH inferior a 4,5, como é o caso em estudo, pode ocorrer deficiência de P, baixos teores de Ca²⁺ Mg²⁺ e K⁺, toxidez por alumínio, baixa saturação por bases, alta saturação por alumínio e em condições de extrema acidez pode ocorrer limitação na decomposição da matéria orgânica. Esta classificação é coerente com a análise estatística para o pH que mostrou a diferença entre as camadas estudadas.

O cálcio apresentou teor médio e baixo quando considerada a zona de transição e solo da Floresta Ombrófila Mista e do povoamento com *P. taeda*, mostrando a diferença entre as camadas estudadas, o mesmo ocorrendo quando considerada a comparação entre os teores na mesma profundidade para os diferentes ecossistemas, ou seja, na zona de transição da Floresta Ombrófila Mista e do povoamento com pinus, ambos apresentam teor considerado médio.

Nos dois ecossistemas, o solo apresenta teor baixo e estatisticamente não houve diferença nesta camada.

Entretanto, considerando a comparação entre os teores na mesma profundidade para os diferentes ecossistemas, ou seja, na zona de transição para a Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com pinus o teor é considerado médio. No solo é classificado como baixo na Floresta Ombrófila Mista e no povoamento florestal com pinus, e estatisticamente houve diferença nesta camada, devendo-se considerar que houve diferença entre as profundidades e entre ecossistemas conforme Figura 46. Assim, existem divergências em relação à classificação dos teores de Ca pela análise da fertilidade e análise estatística.

Para o Mg, os teores verificados, tanto no solo, como na zona de transição de ambos ecossistemas, foram considerados altos, não mostrando diferenças entre as profundidades. Para este nutriente verificou-se diferença estatística entre a zona de transição ($2,52 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e o solo ($0,98 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). O povoamento florestal com Pinus não mostrou diferença estatística entre a zona de transição ($1,33 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e o solo ($1,03 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), estando de acordo com a classificação da análise da fertilidade (Tabela 11).

Sob o ponto de vista de microsítios e sua influência na atividade biológica, foram observadas diferenças estatísticas entre o teor de K^+ verificado na zona de transição e no solo para a Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com Pinus. A análise da fertilidade do elemento K^+ na Floresta Ombrófila Mista mostra que na zona de transição o teor de K^+ foi classificado como alto, enquanto que no solo o teor foi médio. O povoamento florestal com *P. taeda*, tanto no solo, como na zona de transição, foi classificado como médio e não mostrou diferenças entre os teores, divergindo da análise de fertilidade.

Para o fósforo, teores acima de 17 mg dm^{-3} são considerados muito altos, quando considerada planta arbórea, assim tem-se: na zona de transição para ambos ecossistemas teor de P muito alto, no solo para o povoamento com *P. taeda* tem-se teor alto e na Floresta Ombrófila Mista teor baixo, apresentando um detalhamento de classes maior do que a apresentada pela análise estatística.

Por outro lado, quando comparada à zona de transição do ecossistema Floresta Ombrófila Mista com o povoamento de *P. taeda*, a diferença não é mostrada.

Para o estudo da matéria orgânica, teores de $MO > 50 \text{ g dm}^{-3}$ são considerados altos e $MO < 15 \text{ g dm}^{-3}$ são considerados baixos. Assim, a zona de transição e o solo apresentam altos teores de matéria orgânica. Entretanto, a diferença estatística verificada entre os ecossistemas e as profundidades não foi mensurável por meio da análise de fertilidade.

A saturação por bases (V%) para os ecossistemas foi inferior a 50%, o que os enquadra como distróficos.

A utilização de faixas de classificação para fertilidade divergem do uso de análise estatística para a CTC (Tabela 11). Observou-se que existem diferenças entre a CTC na zona de transição e no solo, tanto na Floresta Ombrófila Mista, quanto no povoamento florestal com pinus.

Considerando os ecossistemas, não foram observadas diferenças entre as profundidades estudadas. Um aspecto interessante observado, conforme a classificação utilizada na fertilidade do solo, é o caráter álico no solo, enquanto que na zona de transição é observado o caráter distrófico devido ao menor teor de Al trocável em relação ao solo e os teores de cálcio mais elevados nesta camada, comprovando a importância da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes.

Finalmente, a distribuição das frações granulométricas classificaram como textura média a zona de transição do povoamento florestal com pinus, textura argilosa para o solo e, textura média para a zona de transição e textura argilosa para o solo da Floresta Ombrófila Mista. Este resultado corrobora com aqueles obtidos na zona de transição que teve como fração granulométrica principal o silte, que forneceu o caráter de textura média, e o solo teve como principal fração a argila e, portanto, textura argilosa.

Estes estudos são de grande importância quando se consideram os microrganismos do solo. As considerações feitas em amplas faixas de classificação, como a utilizada para a fertilidade do solo, podem relevar algumas diferenças que a nível de microsítio e expressão dos microrganismos do solo podem ser significativos.

TABELA 11 – Valores médios das características granulométricas e da fertilidade química em Floresta Ombrófila Mista e povoamento com *P. taeda*, em duas profundidades zona de transição e solo em Tijucas do Sul/PR.

Identificação	pH CaCl ₂	H+ Al	Al troc.	Ca+Mg	Ca	Mg	K	CTC	P	M	MO	V	areia	silte	argila
Floresta Ombrófila Mista															
zona de transição	3,89 MA	14,94	1,54A	5,36	2,84M	2,52A	0,39 A	18,77	32,46 MA	25,16	190,62A	30,68 D	24,08	66,39	9,51
*solo	4,06 MA	12,66	3,64A	1,29	0,31B	0,98A	0,11 M	14,08	4,27 B	71,54	71,10A	10,03 D	32,25	28,05	41,30
Povoamento com <i>P. taeda</i>															
zona de transição	3,54 MA	16,92	2,54A	3,46	2,12M	1,33A	0,28 M	20,63	25,72 MA	41,63	344,92A	18,02 D	24,69	53,12	22,17
*solo	4,22 MA	11,74	3,03A	2,52	1,50B	1,03A	0,11 M	14,33	10,01 A	57,70	83,87A	15,04 D	37,31	17,79	44,89

MA – muito alto

A – alto

D – distrófico (V%<50%)

*Solos álicos: Al ≥ 0,3cmol_c.dm⁻³ e m%≥50%

TABELA 12 – Valores médios das características químicas e físicas entre Floresta Ombrófila Mista e povoamento com *P. taeda*, em duas profundidades zona de transição e solo em Tijucas do Sul/PR.

Identificação	pH CaCl ₂	H+ Al	Al troc.	Ca+Mg	Ca	Mg	K	CTC	SB	P	m%	MO	V	areia	silte	argila
						cmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³	%	g dm ⁻³		%		
ZONA DE TRANSIÇÃO																
Flor. Ombr. Mista	3,89a	14,98a	1,54 b	5,36 a	2,84 a	2,52 a	0,39 a	18,74 a	5,78a	32,46 a	25,16b	190,62b	30,68a	24,08a	66,39a	9,51b
Pov. Flor. Pinus	3,54b	16,92a	2,54 a	3,46 b	2,12 a	1,33 b	0,28 b	20,64 a	3,72b	25,72 a	41,63a	344,92a	18,02b	24,69a	53,12b	22,17a
SOLO																
Flor. Ombr. Mista	4,06 b	12,66a	3,64a	1,29b	0,31b	0,98a	0,11a	14,08a	1,41b	4,27 ^a	71,54a	71,10b	10,03b	32,25a	28,05a	41,30b
Pov. Flor. Pinus	4,22 a	11,74a	3,03a	2,52a	1,50a	1,03b	0,11a	14,33a	2,59a	10,01 ^a	57,70a	83,87a	17,22a	37,31a	17,79b	44,89a

*médias seguidas pela mesma letra, verticalmente, não diferem entre si ao nível de 95%,

4.5 EFEITO DOS ECOSISTEMAS FLORESTA OMBRÓFILA MISTA E POVOAMENTO FLORESTAL COM *P. taeda* SOBRE OS MICRORGANISMOS

A Tabela 13 apresenta os dados obtidos para as populações de microrganismos.

TABELA 13 – População média (UFC g⁻¹ de solo) de bactérias, fungos, actinomicetos, solubilizadores de fosfato e celulolíticos, em Floresta Ombrófila Mista e povoamento com *P. taeda*, sob os fatores bloco, profundidade e estação em Tijucas do Sul/PR.

Ecosistema	Bloco	Estação	Profundidade	Bactérias	Fungos	Actinomicetos	Solubilizadores	Celulolíticos
Floresta Ombrófila Mista	1	Inverno	Serapilheira	167.800	79.800	90.400	356.000	494.200
			Transição	121.000	73.400	123.600	2.038.400	508.000
			Solo	1.658.000	178.000	1.250.000	1.358.400	211.800
		Verão	Serapilheira	15.058.000	8.090.000	4.698.800	1.320.000	172.000
			Transição	549.658.000	1.560.000	1.285.800	557.000	180.000
			Solo	274.800	103.400	87.800	1.358.400	242.000
	2	Inverno	Serapilheira	541.400	338.000	10.818.000	52.200	1.030.000
			Transição	110.200	81.600	92.400	124.400	396.000
			Solo	2.502.000	452.000	2.994.000	607.600	97.400
		Verão	Serapilheira	18.820.000	2.534.800	14.154.200	2.548.000	158.000
			Transição	2.642.200	446.400	7.757.000	3.451.800	99.200
			Solo	51.000	39.900	79.600	607.600	156.000
	3	Inverno	Serapilheira	842.000	63.600	1.900.000	27.900	2.134.000
			Transição	106.800	79.200	115.600	32.000	1.100.000
			Solo	1.694.000	190.000	766.000	77.100	46.200
		Verão	Serapilheira	23.400.000	7.100.000	2.080.000	482.200	184.000
			Transição	10.420.000	6.050.000	24.120.000	186.600	120.000
			Solo	27.400	24.600	32.200	77.000	102.000
Povoamento Florestal com <i>P. taeda</i>	1	Inverno	Serapilheira	472.000	109.200	104.600	40.000	488.000
			Transição	152.600	241.200	134.200	39.000	158.600
			Solo	160.000	86.800	134.200	25.800	176.980
		Verão	Serapilheira	168.000	140.600	1.210.000	192.000	152.000
			Transição	802.000	5.882.000	1.984.000	34.400	118.000
			Solo	83.400	86.400	71.400	25.800	148.000
	2	Inverno	Serapilheira	124.600	242.000	246.000	52.800	3.980.000
			Transição	106.000	78.000	93.400	37.200	1.336.000
			Solo	147.400	110.200	159.000	42.200	143.200
		Verão	Serapilheira	24.200.000	4.440.000	11.408.000	587.600	140.000
			Transição	14.660.000	584.000	3.446.000	45.000	132.000
			Solo	91.600	45.000	74.800	42.200	180.000
	3	Inverno	Serapilheira	320.000	92.200	140.000	39.600	4.326.000
			Transição	125.000	76.000	106.600	16.200	1.058.000
			Solo	197.800	144.400	457.400	56.400	189.800
		Verão	Serapilheira	3.496.000	384.600	10.100.000	119.000	184.000
			Transição	420.000	267.800	12.320.000	42.600	144.000
			Solo	41.800	44.800	43.400	56.400	158.000

A Tabela 14 apresenta a comparação de médias entre tratamentos.

TABELA 14 – Comparação de médias para bactérias, fungos, actinomicetos, solubilizadores de fosfato e celulolíticos em duas estações, três profundidades e três blocos, em ambos ecossistemas.

Ecossist.	Microrg (x10 ⁵ UFC g ⁻¹ de solo)	Profundidade			Estação	
		serap	z. trans	solo	inverno	verão
Floresta Ombrófila Mista	bactérias	98,04 b	938,43 a	10,34 b	8,60 b	689,28 a
	fungos	30,34 a	13,82 b	1,65 b	1,71 b	28,83 a
	actinomicetos	56,24 a	55,82 a	8,68 a	20,17 a	60,33 a
	sol de fosfato	7,98 a	10,65 a	6,81 a	5,19 b	11,76 a
	celulolíticos	6,95 a	4,00 b	1,42 b	6,69 a	1,57 b
		serap	z. trans	solo	inverno	verão
Povoamento florestal com pinus	bactérias	47,97 a	27,11 a	1,20 a	2,01 a	48,85 a
	fungos	9,01 a	11,88 ab	0,86 b	1,31 a	13,19 a
	actinomicetos	38,68 a	30,14 a	1,57 a	1,75 a	45,17 a
	sol de fosfato	1,72 a	0,36 b	0,41 b	0,39 a	1,27 a
	celulolíticos	15,45 a	4,91 b	1,66 b	13,17 a	1,51 b

*Médias seguidas pela mesma letra, horizontalmente, não apresentaram diferenças estatísticas ao nível de 95% de probabilidade.

4.5.1 Bactérias

A elevada variância dos dados pode ser considerada uma característica muito específica da amostragem de microrganismos em áreas de floresta. Apesar de ser possível considerar a Floresta Ombrófila Mista e o povoamento florestal com *P. taeda* como ecossistemas, em termos de características vegetais e climáticas; as pequenas alterações que ocorrem no microsítio podem resultar em diferenças no comportamento dos microrganismos do solo. Os ambientes florestais são dinâmicos, apresentando interações complexas entre seres vivos, minerais e materiais orgânicos e a comunidade de microrganismos rege e é regida por essas condições e suas relações (CARDOSO; TSAI; NEVES, 1992; COUTINHO, 1999).

Floresta Ombrófila Mista

Os resultados apresentados na Tabela 13 mostram os valores verificados nas diferentes profundidades, blocos e estações e a Tabela 14 apresenta a comparação de médias para os fatores profundidade, bloco e estação.

Os valores da população de bactérias estão apresentados na Figura 72. Não foi verificada entre os blocos, diferença significativa a 95% de probabilidade entre as médias de bactérias, mostrando que elas são homogêneas. Por outro lado, foi verificada diferença estatística significativa entre as médias de bactérias, ao nível de 95% de probabilidade, entre as profundidades e as estações do ano, bem como nas interações ao nível de 99%.

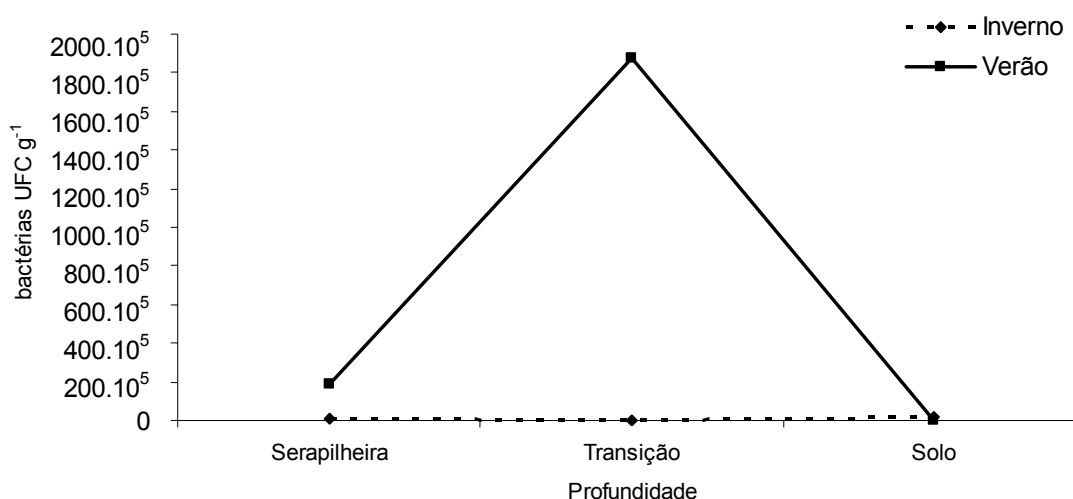


FIGURA 72 – População média de bactérias em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (inverno e verão) no ecossistema Floresta Ombrófila Mista, em Tijucas do Sul/PR.

Quando consideradas as profundidades estudadas, observou-se na zona de transição uma população de $938,0 \times 10^5$ UFC g⁻¹ (unidade formadora de colônias por grama de solo), de bactérias que foi superior e diferiu estatisticamente da serapilheira e do solo que apresentaram $98,04 \times 10^5$ UFC g⁻¹ e $10,3 \times 10^5$ UFC g⁻¹, respectivamente e não diferindo entre si.

No presente trabalho verifica-se que a maior população de bactérias ocorre na zona de transição, sugerindo que os materiais pré formados existentes nesta camada estimulam o desenvolvimento desta população. Tal resultado é explicado por Dionísio que relata, que as bactérias do solo são na sua maioria heterotróficas, sendo que há necessidade de nutrientes orgânicos pré-formados como fonte de energia e carbono e Selle (2007), que relata o processo de transformação das macromoléculas em monômeros mais simples fazendo parte dos compostos humificados ou parcialmente humificados. Desta forma, a zona de transição é justamente a camada onde a matéria orgânica já sofreu um processo prévio de decomposição, favorecendo o desenvolvimento da comunidade bacteriana.

A maior disponibilidade de materiais pré formados na zona de transição é também dependente da serapilheira semi-decomposta e a quantidade ali depositada, dando origem posteriormente ao produto húmus. Nesta fase assimilam substâncias inorgânicas na forma aniônica, como bicarbonatos, nitratos, fosfatos, sulfatos e molibdatos, tornando um reservatório de nutrientes que contém o carbono orgânico e o nitrogênio oxidado pelos microrganismos que, ao mesmo tempo, se torna sua fonte de suprimento. Com isso é provável que a população bacteriana aumente como de fato ocorreu. Já no solo, observou-se que a população de bactérias foi menor quando comparada à zona de transição, Vargas e Scholles (2000) relatam que a camada entre 0 e 5 cm é um horizonte que favorece e estimula o desenvolvimento dos microrganismos, observa-se que a distribuição da matéria orgânica ao longo do perfil do solo diminui, refletindo as quantidades e diferenças biogênicas e reduzindo o número de populações (VARGAS; SCHOLLES, 2000). O NH_4^+ (amônio) é prontamente removido da solução, enquanto os nitratos (NO_3^-), N no seu estado já oxidado, não é fortemente absorvido pelo complexo coloidal, o que faz diminuir a sua assimilação. Esses são outros fatores que podem influenciar na redução do número de bactérias no solo.

Resultados semelhantes a este trabalho foram observados por Freire (1975), Balota e Andrade (1999) e Vargas e Scholles (2000) que verificaram o

decréscimo da população de bactérias ao longo do perfil do solo, embora mais lentamente que a comunidade de fungos.

Quanto às estações do ano, observou-se que no verão a população de bactérias foi superior e estatisticamente diferente ao período de inverno, com $689,28 \times 10^5$ UFC g⁻¹ e $8,60 \times 10^5$ UFC g⁻¹, respectivamente.

A maior população de bactérias observada no verão em função das maiores precipitação e temperatura e, conseqüentemente maior produção de biomassa vegetal, a qual foi observada por Guo e Sims (1999) na Nova Zelândia, onde 70-80% da produção anual de serapilheira foi formada durante o verão. Esta maior oferta de serapilheira durante o verão reforça os resultados obtidos no presente trabalho, onde se verifica maior população de bactérias. As condições que podem ter influenciado são a umidade e a temperatura, pois o verão apresentou maior umidade (114,2 mm de chuva no verão e 54 mm no inverno) e temperatura levemente mais elevada no verão (22,1°C) em relação ao período de inverno (19,4°C) sendo, provavelmente, fatores preferenciais da população bacteriana. Este resultado é confirmado por Selle (2007) que encontrou maior rapidez no processo de decomposição em locais com maiores precipitações, indicando maior atividade dos microrganismos.

A água em conjunto com a temperatura influi na atividade enzimática de transformação, favorecendo o metabolismo microbiano e a atividade da planta. Todas as reações fisiológicas das células microbianas e da planta, são ativadas neste período, melhorando as características físico-químicas ambientais, como o volume de água do solo e o potencial de oxi-redução, pois o microrganismo obtém sua energia da oxidação de materiais reduzidos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

A Figura 72 mostra a diferença verificada na análise de variância entre as profundidades e estações do ano na Floresta Ombrófila Mista. Salienta-se que há uma inversão na população quando se trata de solo, no qual, durante o inverno, a população de bactérias é maior que na zona de transição e na serapilheira, enquanto no verão, a população no solo foi inferior aos dois outros estratos estudados.

De acordo com Moreira e Siqueira (2002), as bactérias podem operar em baixas temperaturas (15-18°C) de conformidade com sua espécie gênica às quais pertencem, nos primeiros 5 cm do solo, devido aos fatores que controlam a habilidade de um organismo, que estão relacionadas as estruturas celulares. Em temperaturas baixas todas as proteínas sofrem leves mudanças conformacionais, pois há um enfraquecimento das ligações que controlam as estruturas terciárias. O grau de saturação de ácidos graxos insaturados nos lipídeos das membranas, determina o grau de fluidez em determinada temperatura, pois o ponto de fusão dos lipídeos está relacionado com o conteúdo destes ácidos. Dessa maneira, o crescimento das populações bacterianas em baixas temperaturas denominadas criófilos ou psicrófilos (< que 20°C), é favorecido pelo aumento no conteúdo de ácidos graxos. É um aspecto que pode ter ocorrido no presente trabalho destacando que nesta Floresta Ombrófila Mista o solo teve valores superiores que a zona de transição e serapilheira, enquanto que no verão a população no solo foi inferior aos dois outros estratos estudados.

Povoamento florestal com *P. taeda*.

Os valores da população bacteriana foram estudados sob os fatores: profundidade (serapilheira, transição e solo), blocos (1, 2, 3) e estações do ano (inverno e verão). Não foi verificada diferença significativa a 95% de probabilidade entre as médias de população de bactérias para blocos: 1, 2 e 3 e profundidades (47,97, 27,11 e 1,20 UFC g⁻¹ de solo para serapilheira, zona de transição e solo, respectivamente). A Figura 73 apresenta os valores obtidos para população de bactérias em três profundidades e no inverno e verão.

Observou-se na área de *P. taeda* maior quantidade de serapilheira sobre o solo, formando uma cobertura espessa. A elevada quantidade de material orgânico disponível sugere que a velocidade de decomposição é menor, resultando em seu acúmulo. Em função da resistência das acículas à decomposição, alguns autores relatam que a serapilheira de pinus não representa um aumento real de matéria orgânica no solo e que a atividade microbiana ocorre efetivamente na matéria orgânica depositada anteriormente ao plantio (CHAVES; CORREA, 2005).

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que mesmo grandes diferenças na população não são diferentes estatisticamente, entretanto deve-se considerar que pequenas adições de matéria orgânica (dejetos de animais) podem promover maior equilíbrio entre os nutrientes e favorecer o desenvolvimento da população, incrementando a ciclagem de nutrientes como observado por Mason (1980). Além disso, a matéria orgânica pode ter promovido alterações nos exsudatos radiculares, pois quanto melhor o estado nutricional das plantas em relação ao nitrogênio, maior a proporção de compostos nitrogenados excretados pelas raízes, o que pode ter favorecido o desenvolvimento da população.

Para o período de verão observou-se uma população de bactérias de $48,85 \times 10^5$ UFC g^{-1} de solo enquanto que no inverno obteve-se $2,01 \times 10^5$ UFC g^{-1} de solo, as quais não diferiram entre si estatisticamente. Estes resultados mostraram-se diferentes daqueles obtidos por Rigobelo e Nahas (2004) que avaliaram a flutuação da população de bactérias em área florestada com pinus e eucalipto, obtendo valores máximos para a comunidade nas épocas de maior umidade e calor. Por outro lado, no período de outono-inverno foram obtidas as menores populações.

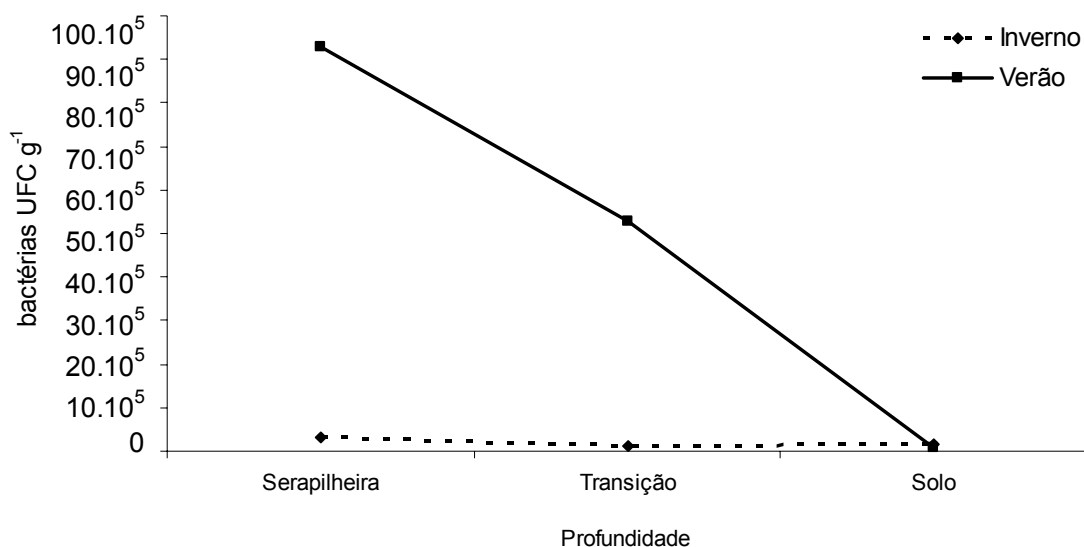


FIGURA 73 – População média de bactérias em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (inverno e verão) no ecossistema povoamento florestal com *P. taeda*, em Tijucas do Sul/PR.

Os resultados do presente trabalho se devem a espessa camada formada que constitui uma proteção eficaz contra as oscilações térmicas e de umidade, assim controlando as variações edafoclimáticas, conforme observado por Chaves e Correa (2005). Este fato poderia explicar a ausência de diferenças estatísticas entre as estações do ano para o povoamento florestal com *P. taeda*.

Em relação à distribuição vertical da população de bactérias não foram verificadas diferenças entre a serapilheira, zona de transição e solo, enquanto que Rigobelo e Nahas (2004) verificaram maiores valores para as contagens das bactérias na camada de solo que vai de 0-5 cm de profundidade, resultantes do acúmulo de resíduos vegetais e de nutrientes.

Interações

Foi verificada diferença estatística na interação entre profundidades e estações do ano, ao nível de 99% de probabilidade, na Floresta Ombrófila Mista, enquanto no povoamento tal situação não ocorreu.

Foi verificada interação entre os fatores verão e serapilheira e para os fatores inverno e solo na Floresta Ombrófila Mista. A atividade microbiana é afetada pela temperatura, sendo que os microrganismos heterotróficos, como as bactérias, responsáveis pela oxidação orgânica, tem sua atividade aumentada ou acelerada com a sua elevação.

A interação entre o fator inverno e solo mostra que as condições ambientais do solo podem apresentar menor variação de umidade e temperatura do que as camadas mais externas como a da serapilheira e zona de transição, favorecendo a maior atividade neste estrato.

4.5.2 Fungos

Floresta Ombrófila Mista

Os valores verificados para a população de fungos nas três profundidades (serapilheira, transição e solo) e duas estações do ano avaliadas (inverno e verão) podem ser visualizados na Figura 74.

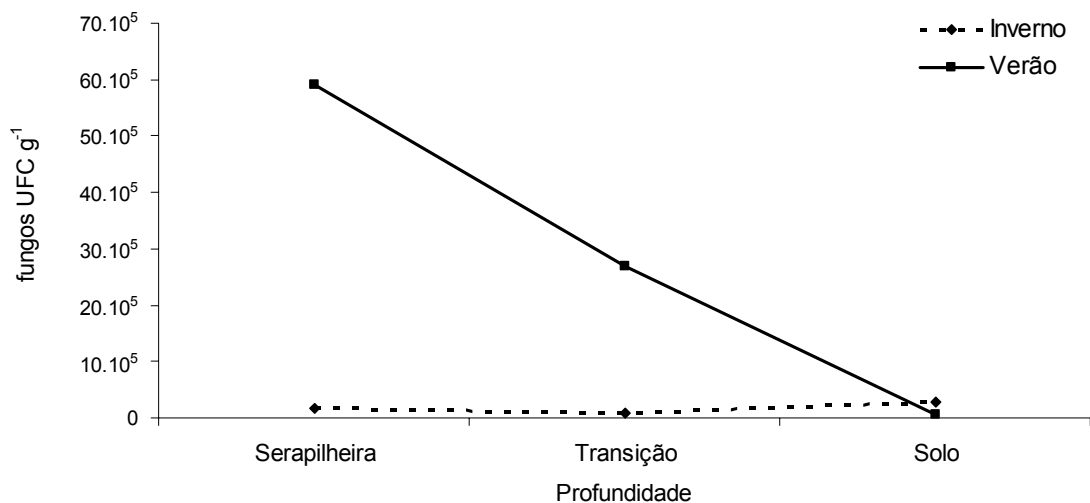


FIGURA 74 – População média de fungos em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (inverno e verão) no ecossistema Floresta Ombrófila Mista, em Tijucas do Sul/PR.

Não foi verificada diferença significativa ao nível de 95% de probabilidade entre as médias da população entre os blocos, mostrando que foram homogêneos. Foi verificada diferença estatisticamente significativa entre as médias de fungos, ao nível de 95% de probabilidade, na Floresta Ombrófila Mista, entre as profundidades e estações do ano, bem como nas interações ao nível de 99%.

Na Figura 75 é possível observar a diferença verificada na análise de variância entre as profundidades e estações do ano na Floresta Ombrófila Mista. Os resultados mostraram que houve diferença estatisticamente significativa ao nível de 95% de probabilidade entre as profundidades estudadas e, a maior população de fungos foi observada na serapilheira $30,34 \times 10^5 \text{ UFC g}^{-1}$, que diferiu e foi superior à população no solo ($1,65 \times 10^5 \text{ UFC g}^{-1}$), a qual não diferiu da transição ($13,82 \times 10^5 \text{ UFC g}^{-1}$).

Os resultados mostram que os materiais depositados na serapilheira favorecem o desenvolvimento de fungos que são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica de forma a utilizar os nutrientes para sua própria manutenção. Este resultado é confirmado por Souto (2006), que,

estudando o comportamento do fungo do solo, relatou aumento da população a partir de fevereiro devido ao acréscimo de matéria orgânica.

O baixo índice pluviométrico na época da coleta de amostras (54 mm) durante o inverno influenciou na menor população de fungos. Resultados semelhantes foram obtidos em estudo realizado na determinação da população fúngica, a qual apresentou decréscimos consideráveis, devido ao baixo conteúdo de água no solo nos meses de menor precipitação (SOUTO, 2006). Segundo Ghizelini (2005) e Moreira e Siqueira (2002), a temperatura tem grande influência na densidade populacional de fungos no solo. A temperatura afeta não só as reações fisiológicas e metabólicas das células, como também as características físico-químicas do ambiente em que vivem.

Povoamento florestal com *P. taeda*.

A população de fungos observada sob os fatores bloco e estação e interação não apresentaram diferença significativa a 95% de probabilidade entre as médias, entretanto houve diferença entre as médias das profundidades.

O valor para a população de fungos na serapilheira foi $9,01 \times 10^5$ UFC g^{-1} , sendo superior e estatisticamente diferente ao nível de 95% do solo que apresentou $0,86 \times 10^5$ UFC g^{-1} de solo, enquanto que a zona de transição não foi diferente estatisticamente do solo e da serapilheira ($11,88 \times 10^5$ UFC g^{-1}).

Segundo Ferreira e Cruz (1991) e Alexander (1961), à medida que as fontes de carbono para decomposição vão desaparecendo, com conseqüente redução na quantidade de energia e de nutrientes para os microrganismos, vai sendo observada uma redução na atividade e na quantidade microbiana, de acordo com a profundidade. Esse processo de redução na atividade dos fungos, prossegue até atingir novo equilíbrio, com a quantidade de material que está sendo adicionada igual a que está sendo destruída. A explicação está basicamente no tipo de resíduo que foi adicionado e na composição do húmus. Isto significa que a quantidade, o tipo e a disponibilidade de material orgânico encontrado perfil adentro poderão determinar a densidade populacional e a composição da população heterotrófica, ou seja, de fungos que necessitam de substâncias orgânicas como fonte de energia e de carbono, que o solo conterá.

A Figura 75 apresenta a diferença verificada na análise de variância entre as profundidades no povoamento florestal com pinus. Salienta-se que a adição de matéria orgânica favorece o desenvolvimento de fungos (CARDOSO, 1992). Alguns autores relatam que a deposição da serapilheira pode variar com a sazonalidade, devido às mudanças na temperatura e disponibilidade de água.

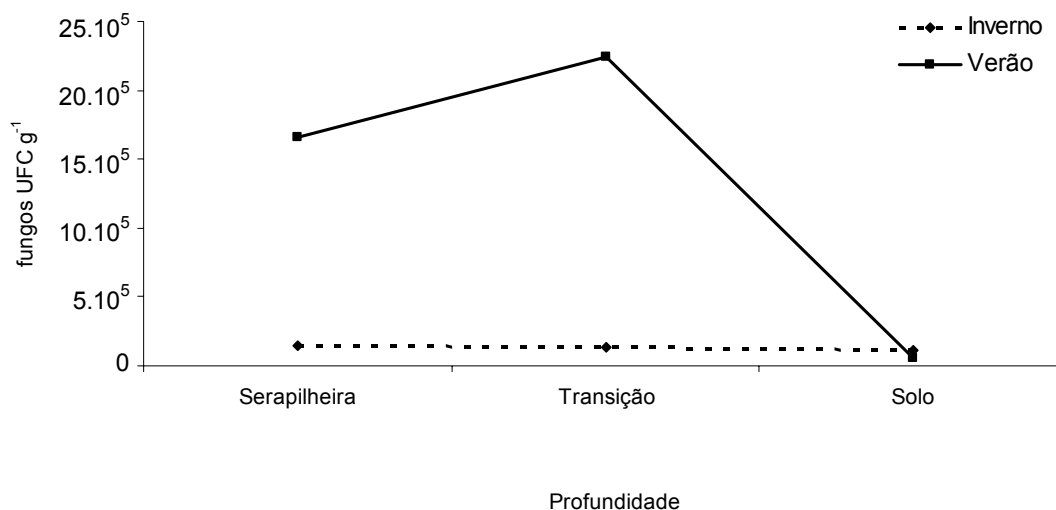


FIGURA 75 – População média de fungos em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (inverno e verão) no ecossistema povoamento com *P. taeda*, em Tijucas do Sul/PR.

Estudando a população de fungos em duas profundidades de solo, 0-5 cm e 5-10 cm, Souto (2006) verificou maiores valores para a população de fungos na profundidade de 0-5 cm. Do perfil do solo, a serapilheira, a zona de transição e a rizosfera são os lugares mais abundantes em fontes de alimentos e nutrientes, sendo estas áreas os locais ideais para o desenvolvimento do microrganismo.

Quando consideradas as estações do ano, estudos realizados por Ghizelini (2005) mostraram correlação entre temperatura média e a população total de fungos, enquanto que o mesmo não foi observado para a precipitação pluviométrica. Em relação às diferenças observadas no índice pluviométrico para inverno (54 mm) e verão (114,2 mm) os resultados obtidos no presente trabalho sugerem que a umidade no ecossistema florestal plantado com *P. taeda* também não influenciou a população fúngica. Enquanto Ghizelini (2005) relatou

correlação positiva para a temperatura, no presente trabalho não foi observada interação entre a comunidade fúngica e a estação do ano. Entretanto, é necessário considerar a variação de temperatura ocorrida naquele e neste trabalho (19,4°C para o inverno e 22,1°C para o verão). No primeiro caso, estudado por Ghizelini (2005) a variação foi de aproximadamente 14°C e no segundo foi de apenas 7°C. Além dessa menor variação de temperatura deve-se considerar que a serapilheira de pinus pode funcionar como um regulador de temperatura do meio, devido à sua maior espessura e homogeneidade. Isso gera um ambiente competitivo entre os microrganismos e pouco variável do ponto de vista físico e micro-climático.

A diversidade espacial e temporal da comunidade fúngica de ecossistemas florestais, sejam naturais ou plantados, tornam o seu estudo mais complexo. A análise da distribuição da população fúngica depende das técnicas utilizadas para sua determinação e também da representatividade das amostras (CALBRIX; LAVAL; BARRAY, 2005).

Interação

Foi verificada diferença significativa na interação entre profundidade e estação ao nível de 99% de probabilidade, na Floresta Ombrófila Mista, segundo a análise de variância, enquanto que no povoamento florestal com pinus não foi verificada essa tendência. Os resultados mostraram que houve interação entre os fatores verão e serapilheira e para os fatores inverno e solo na Floresta Ombrófila Mista.

Segundo Freire (1975) a estação do ano tem influência correlacionada com a temperatura, disponibilidade de matéria orgânica e umidade. Os períodos sazonais, mais especificamente, a temperatura, tem influência primordial sobre os fungos, pois em geral são mesófilos. Poucos são termófilos e estes tem sua atividade nos compostos. Essas temperaturas eliminam muitas outras espécies microgênicas, permitindo a sobrevivência dos microrganismos termófilos. Temperaturas muito altas podem flocular alguns componentes orgânicos, insolubilizar proteínas hidrossolúveis, além de desprender amônia, se o composto estiver na fase de amonização do nitrogênio orgânico, afetando os

microrganismos. Por isso, na camada da serapilheira, mesmo a temperatura atingindo níveis apreciáveis, os microrganismos sobrevivem e se multiplicam, mostrando a grande adaptação que os fungos possuem, como é o caso do *Aspergillus* e do *Trichoderma*. São mais numerosos nas camadas da serapilheira, período em que tornam-se mais ativos, razão pela qual permanecem em materiais onde recebem mais calor e umidade e que coincide com o período de verão, concordando com os dados obtidos neste trabalho.

O efeito do calor pode estar ligado à disponibilidade de matéria orgânica, no caso serapilheira, e à adaptação à baixa pressão do O₂ ou à alta concentração de CO₂, proveniente da atividade respiratória dos microrganismos. Já no inverno, as camadas superficiais ficam muito frias e certos fungos são associados especificamente a certas espécies vegetais, que se desenvolvem bem no inverno, demonstrando a ação seletiva que possuem. Presume-se que essa ação seletiva dos microrganismos deva ser consequência do tipo de vegetação e das secreções radiculares eliminadas neste período, ou da pré-decomposição química de materiais que caem no verão e se disponibilizam no solo superficial, onde as temperaturas lhes são mais favoráveis e constantes neste período.

Assim, é possível sugerir que solos de florestas naturais como a Floresta Ombrófila Mista dependem da disponibilidade natural de material carbonado do sistema e da temperatura.

4.5.3 Actinomicetos

Floresta Ombrófila Mista

A população de actinomicetos foi estudada sob os fatores bloco (1, 2, 3), profundidade (serapilheira, zona de transição e solo) e estação do ano (inverno e verão) na Floresta Ombrófila Mista.

As médias podem ser visualizadas na Figura 76, onde verifica-se que no período de verão a população de actinomicetos foi superior na zona de transição com $110,54 \times 10^5$ UFC g⁻¹, enquanto que no inverno, a maior população ocorreu na serapilheira com $42,69 \times 10^5$ UFC g⁻¹.

De acordo com Freire (1975), a abundância dos actinomicetos parece ocorrer em áreas secas e mais quentes, do que nas muito úmidas.

A Figura 76 mostra maior população de actinomicetos no período de verão para a serapilheira e zona de transição. Solos úmidos e bem arejados são condições que levam os actinomicetos a se desenvolverem melhor (BRADY, 1983).

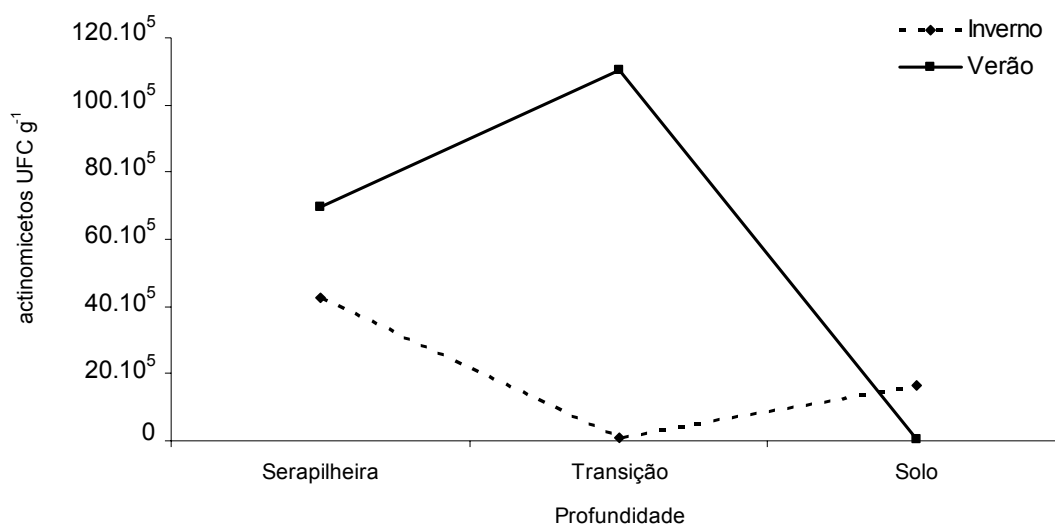


FIGURA 76 – População média de actinomicetos em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (inverno e verão) no ecossistema Floresta Ombrófila Mista, em Tijucas do Sul/PR.

No presente trabalho observou-se para o período de inverno um teor de umidade de 72,28%, enquanto que para o verão foi de 111,73%, mostrando que a precipitação ocorrida em janeiro poderia influenciar positivamente a população de actinomicetos. Valpassos et al. (2007), estudando diferentes ecossistemas florestais, encontraram maior população de actinomicetos em coleta realizada em outubro em relação a coleta realizada em fevereiro em Floresta Atlântica, divergindo dos resultados obtidos neste trabalho, uma vez que a precipitação ocorrida em fevereiro foi quase três vezes maior do que a de outubro.

No solo verifica-se no verão a menor população de actinomicetos, fato este relacionado com a menor disponibilidade de fonte de alimentos neste

estrato, sendo que ocorre o decréscimo da matéria orgânica ao longo do perfil do solo.

Povoamento florestal com *P. taeda*.

A população de actinomicetos quando estudados os fatores profundidade, bloco e estação para o povoamento florestal com *P. taeda* não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos. Isto vem demonstrar que os actinomicetos que possuem conídios são resistentes à adversidade ambiental como a dessecação e a temperaturas altas, fazendo com que persistam tanto nas camadas de serapilheira como na de transição e solo. Na Figura 77 podem ser visualizadas os valores obtidos para a população de actinomicetos em três profundidades e duas estações.

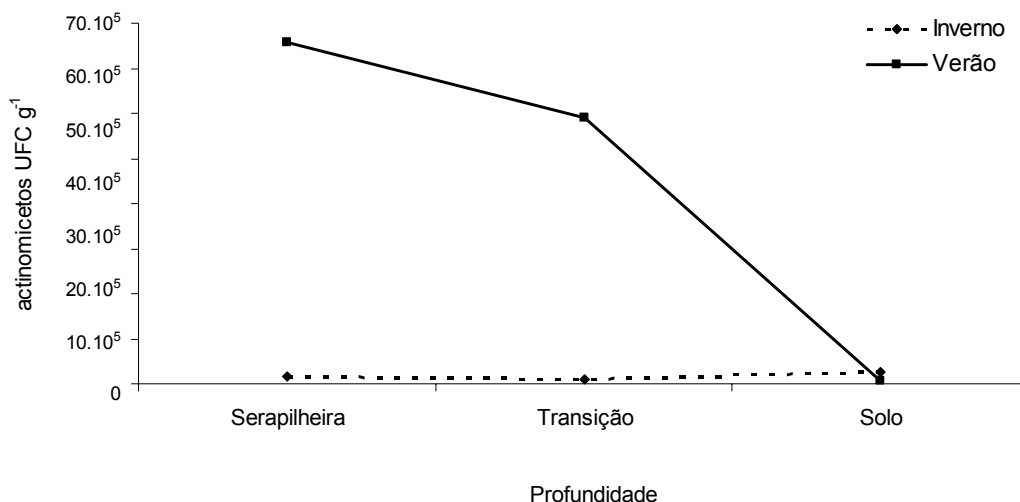


FIGURA 77 – População média de actinomicetos em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (inverno e verão) no ecossistema povoamento florestal com *P. taeda*, em Tijucas do Sul/PR.

No povoamento florestal com pinus, o estudo da umidade não mostrou diferenças estatísticas, indicando que a umidade é um fator decisivo na expressão dos actinomicetos em áreas florestais, apesar da preferência aos solos mais secos.

Observa-se que no verão a população de actinomicetos foi maior na serapilheira e zona de transição quando comparado com o inverno, mostrando

maior atividade, provavelmente em função da temperatura e umidade mais elevada naquele período. No solo observa-se comportamento semelhante ao da Floresta Ombrófila Mista.

Verificou-se interação positiva entre a profundidade solo e a estação inverno para a população de actinomicetos. De acordo com Brady (1983) os actinomicetos são mais numerosos no horizonte A, mas podem ser encontrados em grandes profundidades, resultante do carreamento de conídios pela água ou a um efeito diferencial de O₂ ou CO₂ como ocorre com os fungos, sobre os actinomicetos. No povoamento não foi observada interação entre profundidade e estação.

4.5.4 Microrganismos Solubilizadores de Fosfato

Floresta Ombrófila Mista

Os resultados mostraram diferenças significativas para os fatores bloco e estação do ano, para os solubilizadores de fosfato em Floresta Ombrófila Mista. Não foi verificada diferença significativa ao nível de 95% de probabilidade entre as médias da população de solubilizadores para o fator profundidade (Tabela 14).

O bloco 3 apresentou a menor população de solubilizadores ($1,47 \times 10^5$ UFC g⁻¹) e diferiu estatisticamente dos blocos 1 e 2 que apresentaram $11,64 \times 10^5$ e $12,31 \times 10^5$ UFC g⁻¹, respectivamente. A Figura 78 apresenta os valores obtidos para a população de solubilizadores de fosfato em três profundidades de solo na Floresta Ombrófila Mista e duas estações do ano.

Os microrganismos especializados na solubilização de fosfato participam da solubilização de compostos inorgânicos de fósforo (P), da mineralização de compostos orgânicos com a liberação de ortofosfatos, da imobilização de ânions inorgânicos disponíveis pela conversão em constituintes do protoplasma microbiano, de oxidação ou redução dos compostos inorgânicos de fósforo.

Os microrganismos especializados na solubilização de fosfato participam da solubilização de compostos inorgânicos de fósforo (P), da mineralização de compostos orgânicos com a liberação de ortofosfatos, da imobilização de ânions

inorgânicos disponíveis pela conversão em constituintes do protoplasma microbiano, de oxidação ou redução dos compostos inorgânicos de fósforo.

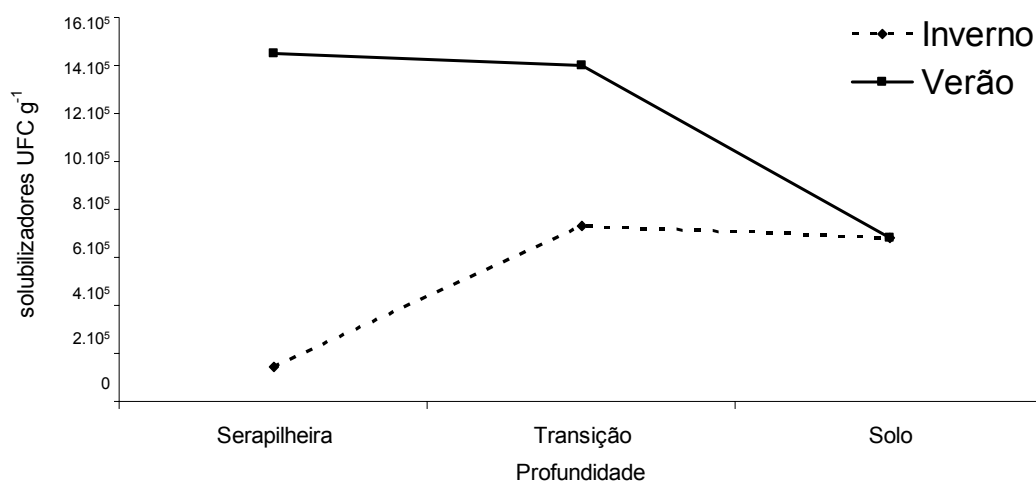


FIGURA 78 – População média de solubilizadores de fosfato em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (inverno e verão) no ecossistema Floresta Ombrófila Mista, em Tijucas do Sul/PR.

Os microrganismos podem imobilizar o fosfato e isso é mais provável ocorrer quando o ortofosfato disponível no solo estiver em baixa concentração, ou seja, abaixo do que é exigido pelos microrganismos (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002; TSAI; ROSSETTO, 1992). Entretanto, os teores de fósforo no bloco 3, quando analisados os atributos químicos do solo, mostrou-se maior do que os observados para os blocos 1 e 2. A menor população de solubilizadores de fosfato e maior teor de P no bloco 3 está relacionada ao tipo de microrganismo solubilizador. Nahas (1999) cita que os solubilizadores de fosfato de rocha apresentam maior habilidade de solubilização e o bloco 3 encontra-se localizado sobre um CAMBISSOLO HÁPLICO distrófico com NEOSSOLO LITÓLICO típico, ou seja, solo pouco intemperizado com afloramentos de rocha. Segundo Alexander (1980), existem espécies de grupos de fungos como os do gênero *Aspergillus*, *Penicillium* e *Rhizopus*; bactérias gram negativas e positivas e actinomicetos do gênero *Nocardia* e *Micromonospora*, que são mais ativas que outras, quando se trata de

solubilização de fosfatos na conversão de formas insolúveis de fósforo para formas solúveis. São microrganismos que crescem e se desenvolvem em meio com $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, apatita ou materiais insolúveis semelhantes, em menor número, mas possuem maior habilidade de solubilizar fosfato, com o que é possível concordar com o menor valor populacional de solubilizadores e maior teor de P no bloco 3.

O principal mecanismo microbiológico pelo qual os compostos insolúveis de fósforo são mobilizados é através da produção de ácidos orgânicos. No caso, principalmente, de quimioautotróficos oxidantes de amônia e enxofre, são produzidos ácidos inorgânicos como o nítrico e o sulfúrico como agentes de solubilização. Os ácidos inorgânicos e orgânicos convertem o $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ a fosfatos di e monobásicos, resultando em um aumento da disponibilidade do elemento para as plantas. A quantidade solubilizada pelos heterotróficos varia com o carboidrato oxidado e, normalmente, a transformação no solo se concretiza se o substrato carbonato for convertido em ácidos orgânicos (ALEXANDER, 1980).

Os ácidos nítrico e sulfúrico produzidos durante a oxidação dos materiais e compostos inorgânicos de enxofre reagem com o fosfato mineral, liberando fósforo solúvel ao solo. A oxidação do enxofre elementar é um meio simples e efetivo de liberar fósforo. Ocorre com os *Thiobacillus* liberando ácido sulfúrico, com o qual incrementará a acidez do meio e liberação de fósforo solúvel (ALEXANDER, 1980).

No verão foi observada a maior população de solubilizadores de fosfato com $11,76 \times 10^5$ UFC g^{-1} . e $5,19 \times 10^5$ UFC g^{-1} , para o verão e inverno, confirmando que a temperatura e a umidade aumentam a atividade dos microrganismos, favorecendo a decomposição da matéria orgânica.

Povoamento florestal com *P. taeda*.

Os resultados da análise de variância que compara as médias da população de solubilizadores de fosfato sob os fatores bloco (1, 2, 3), profundidade (serapilheira, zona de transição e solo) e estação (inverno e verão) em povoamento com pinus não apresentaram diferenças estatísticas

significativas ao nível de 95% de probabilidade para o fator bloco ($0,59 \times 10^5$ UFC g⁻¹, $1,35 \times 10^5$ UFC g⁻¹ e $0,55 \times 10^5$ UFC g⁻¹, para os blocos 1, 2 e 3) e para a interação estação e profundidade.

Na Figura 79 fica evidenciada a maior população de solubilizadores de fosfato na serapilheira de *P. taeda* com $1,72 \times 10^5$ UFC g⁻¹ que foi superior e estatisticamente diferente da zona de transição ($0,36 \times 10^5$ UFC g⁻¹) e do solo ($0,41 \times 10^5$ UFC g⁻¹) que não diferiram entre si. Os resultados mostraram que ocorre maior desenvolvimento da população de solubilizadores na serapilheira, provavelmente em função da adição de matéria orgânica pela deposição das acículas de pinus. Em um estudo sobre recuperação de área degradada, por meio de reflorestamento, foi feita a avaliação da comunidade microbiana do solo, os autores atribuíram o aumento das variáveis microbiológicas ao aumento das quantidades de carbono orgânico total (VALPASSOS, et al., 2007).

É possível observar pelos valores de P na zona de transição e no solo a disponibilização deste elemento no povoamento florestal com pinus. Os valores de P foram $1,59 \text{ mg dm}^{-3}$ na serapilheira, $32,46 \text{ mg dm}^{-3}$ na zona de transição e $4,27 \text{ mg dm}^{-3}$ no solo, sendo a zona de transição a região de maior armazenamento deste elemento. Se a atividade dos solubilizadores ocorre principalmente na serapilheira, o processo de percolação do P é intenso através da serapilheira. Alguns trabalhos citam que a movimentação no perfil do solo do fósforo pode ocorrer na forma orgânica (MOZAFFARI; SIMS, 1994). A maior quantidade de P na zona de transição é resultante do tipo de serapilheira, a qual poderia favorecer a percolação do P. Estudos feitos por Correa, Mauad e Rosolem (2004) mostraram que as espécies de cobertura influenciam a movimentação do fósforo em profundidade no solo, divergindo ainda em relação ao tipo de fósforo transportado. Os mesmos autores relatam que o maior nível de matéria orgânica, proporcionando um ambiente menos oxidativo, reduzindo as reações de fixação e o contato dos resíduos com o solo, promovendo impacto direto na fertilidade nas camadas superficiais e subsuperficiais.

No período de verão verificou-se a maior população de solubilizadores de fósforo, devido ao maior teor de umidade e temperatura mais alta, que estimula a atividade e o crescimento das comunidades de microrganismos. É importante

observar que o solo sempre foi o fator a apresentar a menor população quando comparada a serapilheira e a zona de transição (Figura 79).

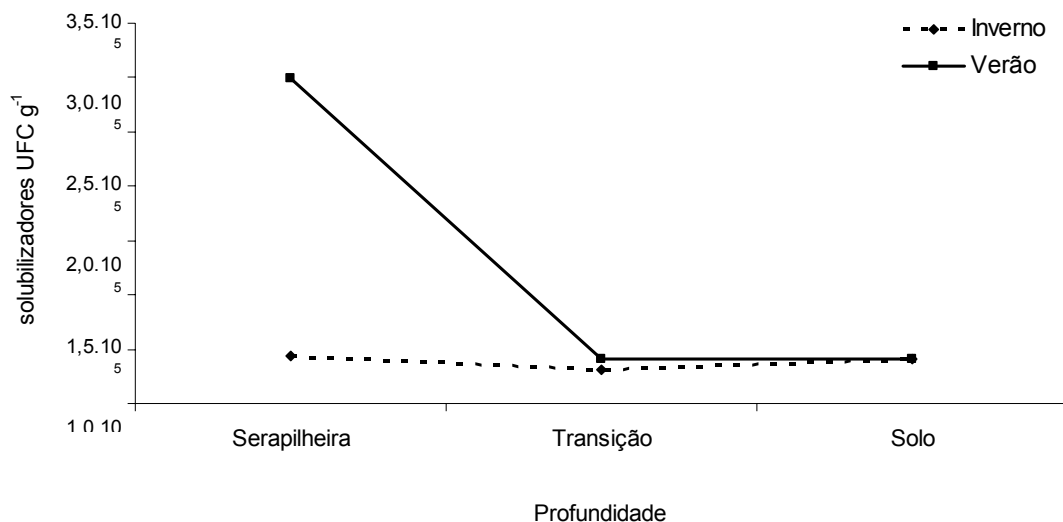


FIGURA 79 – População média de solubilizadores de fosfato em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (inverno e verão) no ecossistema povoamento com *P. taeda*, em Tijucas do Sul/PR.

A estação climática condiciona o tipo de revestimento vegetal e o seu dossel, principal matéria prima para a formação da serapilheira e da elaboração da matéria orgânica, a que temperaturas acima de 28°C e umidade próxima a capacidade de campo, favorecem as reações físicas e químicas, maximizando as atividades microbiológicas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). A estação influencia a população microbiana resultante da maior ou menor quantidade de resíduos que caem sobre o solo (HEANEY; PROCTOR, 1989).

Não foi observada interação entre profundidade e estação do ano para o povoamento com *P. taeda*.

4.5.5 Microrganismos Celulolíticos

Floresta Ombrófila Mista

Os microrganismos celulolíticos foram estudados sob os fatores bloco (1, 2, 3), profundidade (serapilheira, zona de transição e solo) e estação (inverno e

verão) em Floresta Ombrófila Mista, não sendo observadas diferenças estatísticas entre os blocos, mostrando a homogeneidade da área para os celulolíticos.

Para a profundidade e estação foram observadas diferenças estatísticas significativas ao nível de 99% e 95% de probabilidade. Verificou-se para a serapilheira a maior população de celulolíticos com $6,95 \times 10^5$ UFC g^{-1} e para a zona de transição $4,01 \times 10^5$ UFC g^{-1} e no solo $1,43 \times 10^5$ UFC g^{-1} (Figura 80). Em geral, os microrganismos celulolíticos podem ser tratados como quimiotróficos na grande maioria, mas podem também ser fototróficos, proliferando-se através da obtenção de energia e carbono de várias fontes como compostos orgânicos e inorgânicos reduzidos. De modo geral, consideram-se os fungos como heterotróficos e autotróficas as bactérias fotossintetizantes, que pertencem a um grupo restrito de microrganismos celulolíticos do solo. A degradação dos substratos orgânicos resulta de inúmeras reações químicas sequenciadas mediadas pelas enzimas que são reguladas intrinsecamente ou por fatores externos, como o calor (luz) e a umidade.

A comunidade de microrganismos envolvida na decomposição da matéria orgânica em ecossistemas florestais é influenciada pela quantidade e qualidade da entrada de serapilheira (BAATH; ARNEBRANT, 1994), confirmando o resultado obtido neste trabalho.

Os resultados obtidos para os microrganismos celulolíticos divergem daqueles obtidos para bactérias, fungos, actinomicetos e solubilizadores de fosfato, que apresentaram maior população para o verão (Figura 90). O comportamento diferenciado dos celulolíticos está associado à especificidade de decomposição, sucessão fúngica e maior sensibilidade às condições de umidade.

De acordo com Tauk (1990) a decomposição inicial do material lábil é rápida (açúcares, por exemplo) e, posteriormente, num processo mais lento, os materiais mais resistentes como a celulose, hemicelulose e lignina são decompostos. Embora fungos e bactérias contribuam com a decomposição da matéria orgânica depositada como serapilheira, os fungos são mais viáveis e eficientes em substratos de carbono (ALEXANDER, 1961). Neste caso deve ser considerada a sucessão fúngica que pode ser definida como a mudança

direcional da composição do material, quantidade relativa e características da comunidade decompositora (FRANKLAND, 1998). À medida que ocorre a decomposição da serapilheira, as comunidades fúngicas sofrem alterações seqüenciais devido a modificações na disponibilidade de nutrientes, pH, teor de oxigênio, entre outros.

Desta forma, a maior população de celulolíticos parece surgir após uma fase inicial de intensa decomposição pelos demais microrganismos presentes na serapilheira.

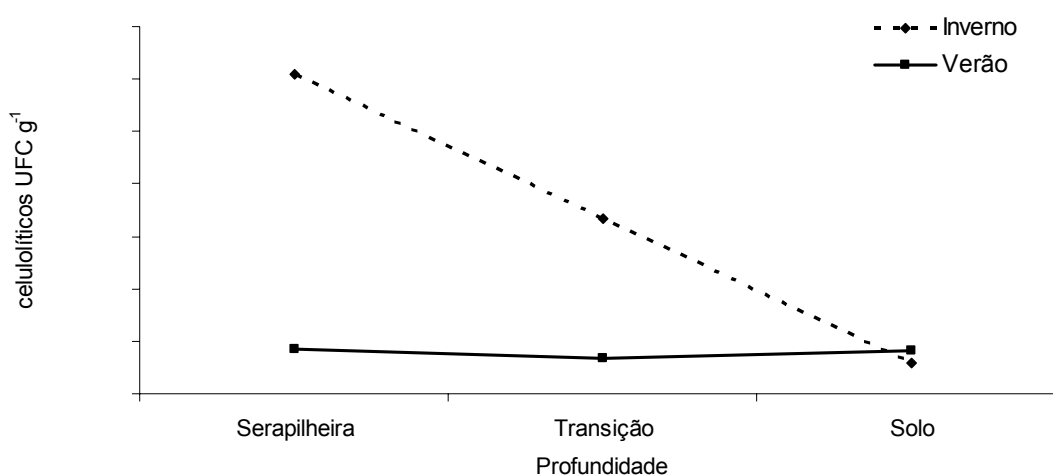


FIGURA 80 – População média de celulolíticos em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (inverno e verão) no ecossistema Floresta Ombrófila Mista, em Tijucas do Sul/PR.

Finalmente, o teor de umidade mais elevado no período de verão parece influenciar negativamente o desenvolvimento de organismos celulolíticos. De acordo com Freire (1975), em ambientes deficientes de oxigênio, a decomposição torna-se lenta, sendo realizada predominantemente por bactérias anaeróbias facultativas e/ou obrigatórias, sendo a taxa de metabolização da celulose reduzida.

Verificou-se interação positiva para os fatores profundidade e estação do ano, para o inverno e serapilheira que apresentou a maior população com $12,19 \times 10^5$ UFC g⁻¹ de microrganismos celulolíticos e não diferiu da zona de transição no inverno $6,68 \times 10^5$ UFC g⁻¹. As demais interações não diferiram

entre si e foram similares à população encontrada na profundidade zona de transição e no período de inverno.

Povoamento florestal com *P. taeda*.

A população de microrganismos celulolíticos observada sob os fatores bloco (1, 2, 3), profundidade (serapilheira, zona de transição e solo) e estação (inverno e verão) em povoamento florestal com pinus não apresentaram diferenças estatísticas entre os blocos, mostrando a homogeneidade espacial entre os blocos da população de celulolíticos para o pinus.

De forma similar aos resultados obtidos para a Floresta Ombrófila Mista observa-se maior população de organismos celulolíticos na serapilheira em relação à zona de transição e solo que não diferiram entre si. Os valores obtidos nas três profundidades e no inverno e verão estão apresentados na Figura 81. As médias obtidas para a população de microrganismos celulolíticos foram $15,45 \times 10^5$ UFC g⁻¹, $4,91 \times 10^5$ UFC g⁻¹ e $1,66 \times 10^5$ UFC g⁻¹, para serapilheira, zona de transição e solo, respectivamente. Estes resultados confirmam a importância da matéria orgânica na forma de serapilheira para o desenvolvimento de celulolíticos.

Em relação à estação do ano, o período de inverno apresentou maior população de celulolíticos com $13,17 \times 10^5$ UFC g⁻¹ e no verão obteve-se $1,51 \times 10^5$ UFC g⁻¹. As considerações feitas para Floresta Ombrófila Mista são adotadas para o povoamento com pinus.

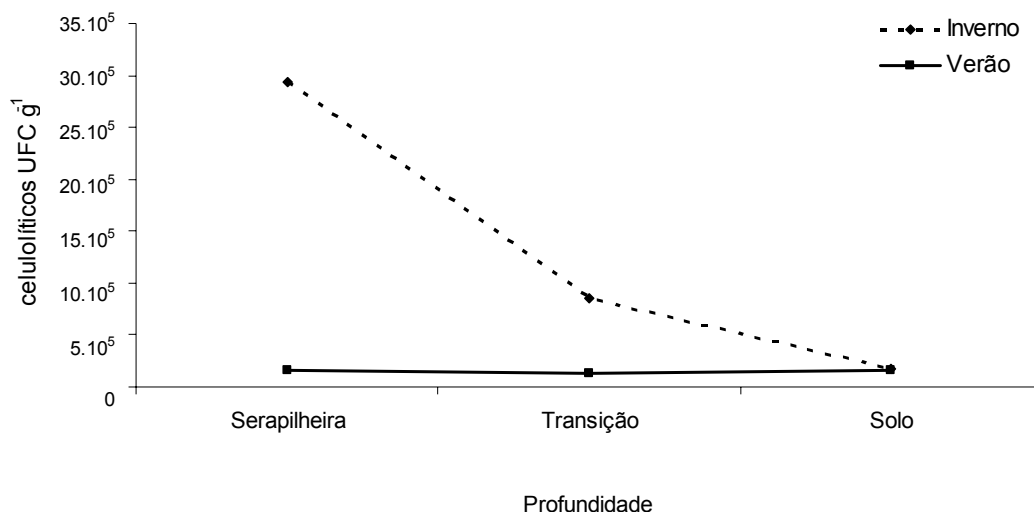


FIGURA 81 – População média de celulolíticos em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) e duas estações (inverno e verão) no ecossistema povoamento com *P. taeda*, em Tijucas do Sul/PR.

A estação do ano e a profundidade não apresentaram interação ao nível de 95%.

4.5.6 Comparação das populações de microrganismos entre a Floresta Ombrófila Mista e o povoamento com *P. taeda*.

Foi realizado o teste “t” de Student para comparar as médias das populações de bactérias, fungos, actinomicetos, solubilizadores de fosfato e celulolíticos obtidas para a Floresta Ombrófila Mista e povoamento com *P. taeda* em duas estações do ano (inverno e verão), os valores estão apresentados na Tabela 15. Quando considerada a serapilheira, observa-se que o ecossistema Floresta Ombrófila Mista apresentou maior população de bactérias, fungos, solubilizadores de fosfato e celulolíticos no verão.

A população de solubilizadores de fosfato na Floresta Ombrófila Mista foi superior e estatisticamente diferente do povoamento florestal com pinus na profundidade zona de transição, tanto no verão quanto no inverno (Figura 82). No solo foram verificadas populações de bactérias, fungos e actinomicetos superiores no ecossistema Floresta Ombrófila Mista, no período de inverno, que diferiu estatisticamente do ecossistema povoamento com *P. taeda*. Os

solubilizadores de fosfato, neste estrato, também foram superiores e estatisticamente diferentes para a Floresta Ombrófila Mista nas duas estações do ano (Figura 82).

TABELA 15 – Teste “t” de Student para comparação das médias da população de bactérias, fungos, actinomicetos, solubilizadores de fosfato e celulolíticos (UFC g⁻¹) no ecossistema Floresta Ombrófila Mista e povoamento com *P. taeda*, em duas estações do ano (inverno e verão), em Tijucas do Sul/PR.

Microrganismo	Estação	Serapilheira (x 10 ⁵ UFC)		Zona de transição (x 10 ⁵ UFC)		Solo (x 10 ⁵ UFC)	
		Flor Omb	Pinus	Flor Omb	Pinus	Flor Omb	Pinus
Bactérias	inverno	5,17	3,06 ^{ns}	1,13	1,28 ^{ns}	19,51	1,68 [*]
	verão	190,92	92,88 ^{**}	1875,73	52,94 ^{ns}	1,18	0,72 ^{ns}
Fungos	inverno	1,60	1,48 ^{ns}	0,78	1,32 ^{ns}	2,73	1,14 [*]
	verão	59,08	16,55 ^{**}	26,85	22,44 ^{ns}	0,56	0,59 ^{ns}
Actinomicetos	inverno	42,69	1,64 ^{ns}	1,10	1,11 ^{ns}	16,70	2,50 ^{ns}
	verão	69,78	75,73 ^{ns}	110,54	59,17 ^{ns}	0,66	0,63 ^{ns}
Solubilizadores de Fosfato	inverno	1,45	0,44 ^{ns}	7,32	0,31 [*]	6,81	0,41 [*]
	verão	14,5	2,99 [*]	13,98	0,41 ^{**}	6,81	0,41 ^{**}
Celulolíticos	inverno	12,19	29,31 ^{ns}	6,68	8,51 ^{ns}	1,18	1,69 ^{ns}
	verão	1,71	1,59 ^{**}	1,33	1,31 ^{ns}	1,67	1,62 ^{ns}

ns – não significativo ao nível de 95% de probabilidade

* ao nível de 95% de probabilidade

** ao nível de 99% de probabilidade

De forma geral, com exceção dos organismos celulolíticos que apresentaram maior população, embora não diferindo estatisticamente, para o período de inverno nas três profundidades, todos os demais microrganismos, independente da estação do ano, apresentaram maior número na Floresta Ombrófila Mista. A análise dos atributos químicos mostrou que a Floresta Ombrófila Mista apresentou maiores teores de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, P e maior CTC, provavelmente em função da maior diversidade vegetal deste ecossistema e menor grau de resistência à decomposição.

A maior população de celulolíticos, no período de inverno, ocorre devido à maior quantidade de matéria orgânica, ou seja, maior disponibilidade de matéria para uso dos decompositores de celulose e do menor índice de umidade que favoreceu o desenvolvimento da comunidade.

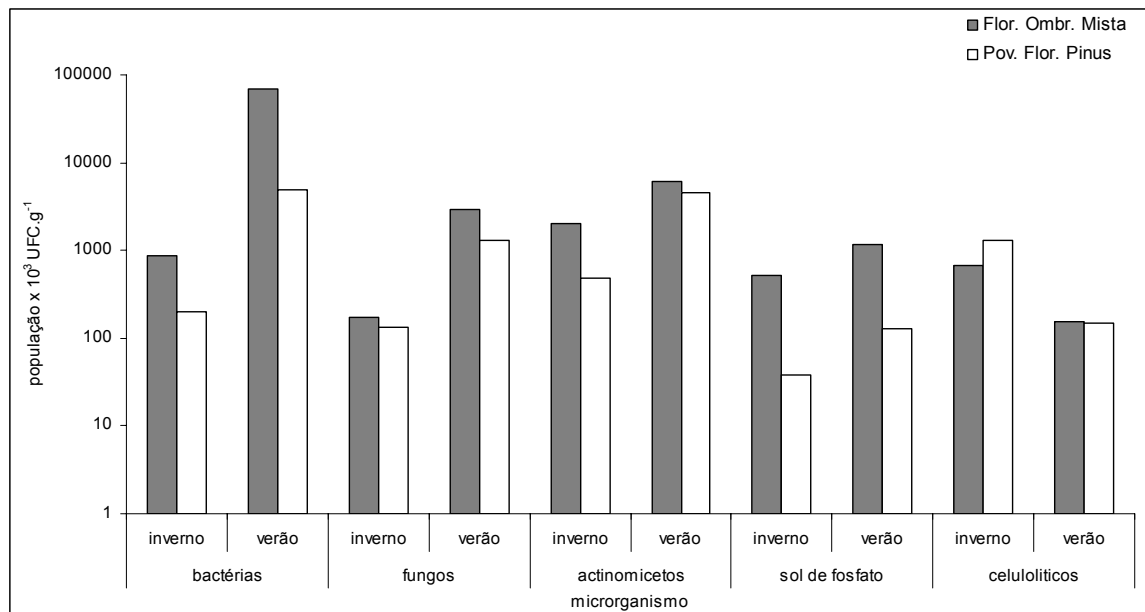


Figura 82 - População média de microrganismos em duas estações (inverno e verão) nos ecossistemas Floresta Ombrófila Mista e povoamento com *P. taeda*, em Tijucas do Sul/PR.

A quantidade de bactérias no verão na Floresta Ombrófila Mista foi retirada do gráfico para facilitar a visualização, uma vez que seu valor elevado inviabilizaria a comparação dos demais valores, pois alterara a escala do gráfico, tornando-a grande demais para que fosse possível detectar as diferenças menores dos demais microrganismos.

- **Síntese dos resultados da comparação de médias da variável microrganismos para Floresta Ombrófila Mista e para o povoamento florestal com *P. taeda***

Floresta Ombrófila Mista		Povoamento florestal com <i>P. taeda</i>	
Bactérias		Bactérias	
• profundidade	> serapilheira	• profundidade	não significativa
• estação	verão > inverno	• estação	não significativa
• interação	serapilheira e verão solo e inverno	• interação	não significativa
Fungos		Fungos	
• profundidade	> serapilheira	• profundidade	> zona de transição
• estação	verão > inverno	• estação	não significativa
• interação	serapilheira e verão solo e inverno	• interação	não significativa
Actinomicetos		Actinomicetos	
• profundidade	não significativa	• profundidade	não significativa
• estação	não significativa	• estação	não significativa
• interação	solo e inverno	• interação	não significativa

Floresta Ombrófila Mista		Povoamento florestal com <i>P. taeda</i>	
Solubilizadores de Fosfato		Solubilizadores de Fosfato	
• bloco	> B2 e B1	• bloco	não significativa
• profundidade	não significativa	• profundidade	> serapilheira
• estação	verão > inverno	• estação	verão > inverno
• interação	serapilheira e verão solo e inverno	• interação	não significativa
Celulolíticos		Celulolíticos	
• bloco	não significativa	• bloco	não significativa
• profundidade	> serapilheira	• profundidade	> serapilheira
• estação	inverno > verão	• estação	inverno > verão
• interação	serapilheira e inverno	• interação	serapilheira e inverno

- **Síntese dos resultados da comparação de médias entre ecossistemas para a variável microrganismos**

População de microrganismos da FI. Ombrófila Mista > no Pov. com *P. taeda*

4.6 BIOMASSA MICROBIANA

Foram realizadas análises de variância considerando, separadamente, os ecossistemas denominados Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com *P. taeda*, em que os fatores analisados foram estações do ano (inverno e verão), profundidades (serapilheira, transição e solo) e três blocos.

Na Tabela 16 estão apresentadas as médias das biomassas nos dois ecossistemas, nas duas estações, nas três profundidades e nos três blocos.

TABELA 16 – Comparação de médias para a biomassa microbiana ($\mu\text{g g}^{-1}$ de solo) em dois ecossistemas, três blocos, três profundidades e duas estações em Tijucas do Sul/PR

Ecossistema	Estação		Profundidade			Bloco		
	verão	inverno	serap	z trans	solo	1	2	3
Floresta Ombrófila Mista	7,38 a	6,65 a	5,46 b	9,35 a	6,24 b	7,37 a	7,01 a	6,66 a
Povoamento florestal com <i>P. taeda</i>	5,36 a	5,86 a	6,65 a	6,19 a	3,99 a	7,15 a	6,67 a	6,57 a

Floresta Ombrófila Mista

A biomassa microbiana na Floresta Ombrófila Mista foi verificada sob os fatores estação, profundidade e bloco. Na Figura 93 estão representados os valores das biomassas nos blocos (1, 2, 3), nas duas estações (inverno e verão), na profundidade (serapilheira, zona de transição e solos) na Floresta Ombrófila Mista.

Não houve diferença significativa para biomassa nos diferentes blocos, mostrando que há homogeneidade de comportamento dos diversos tratamentos dentro delas ($7,37 \mu\text{g g}^{-1}$, $7,01 \mu\text{g g}^{-1}$, $6,66 \mu\text{g g}^{-1}$; blocos 1, 2 e 3). Houve diferença ao nível de 95% de probabilidade para os ecossistemas e profundidade. Não houve interação entre estação e profundidade, estação e bloco e profundidade e bloco ao nível de 95% de probabilidade (Figura 93).

Foi realizado o teste de Tukey para a comparação das médias entre as profundidades, em que se observa que a biomassa na zona de transição

(9,35 $\mu\text{g g}^{-1}$) foi estatisticamente superior ao solo (6,24 $\mu\text{g g}^{-1}$), ao nível de 95% de probabilidade e que essa foi estatisticamente igual a da serapilheira (5,46 $\mu\text{g g}^{-1}$).

Trabalho realizado por Monteiro e Gama-Rodrigues (2004) mostrou que as folhas apresentaram valores maiores de carbono da biomassa microbiana, resultado que difere do obtido para o presente trabalho, no qual a zona de transição apresentou maior biomassa microbiana. Os mesmos autores relatam ainda que o maior teor de C microbiano nas folhas foi devido à maior acumulação de carbono orgânico disponível para o metabolismo microbiano e pelo menor nível de recalcitrância. Para a estrutura "H" (matéria orgânica menor que 2 mm) verificaram menor teor de celulose, lignina e polifenóis.

Os resultados obtidos no presente trabalho, para o período de verão e inverno, não mostraram diferenças estatísticas, apresentando no verão uma quantidade levemente superior ao período de inverno (7,38 $\mu\text{g g}^{-1}$ e 6,65 $\mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente). Em relação à temperatura, verificou-se que a média entre as estações foi 19,4°C e 22,1°C, apesar desta pequena variação, deve-se considerar que ao nível de microsítio florestal esta variação de temperatura entre estações poderia ser ainda menor, em razão da presença do dossel e da própria serapilheira. Luizão et al. (2002) relataram maior biomassa microbiana para a estação chuvosa na floresta, sugerindo que o teor de umidade é mais importante do que o teor de nutrientes no solo, contribuindo para uma ciclagem mais eficiente de nutrientes da liteira do solo. Este resultado difere dos obtidos neste trabalho, entretanto verificou-se no verão maior teor de umidade e maior biomassa microbiana.

É possível visualizar na Figura 83 a diferença observada por meio da análise de variância entre os fatores, ou seja, que a biomassa variou significativamente nas profundidades.

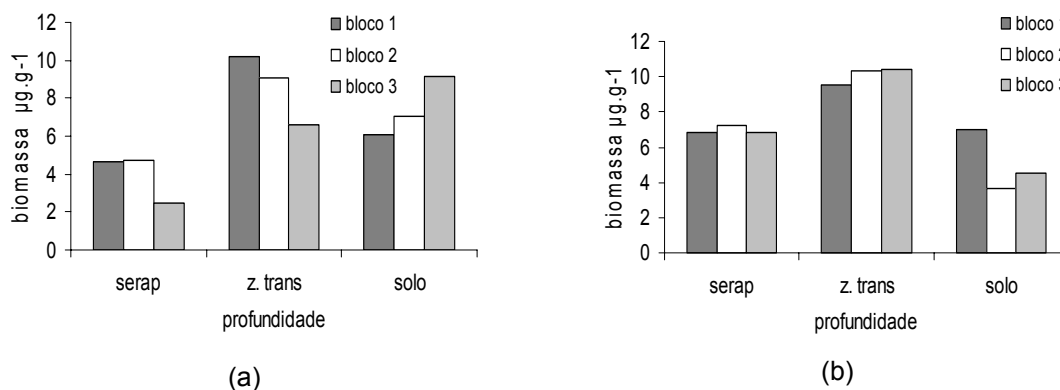


FIGURA 83 – Biomassa microbiana ($\mu\text{g g}^{-1}$) nos três blocos, no inverno (a) e verão (b), em três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) em Floresta Ombrófila Mista em Tijucas do Sul-PR.

Povoamento florestal com *P. taeda*.

Na Figura 84 estão representadas médias das biomassas nos três blocos, nas duas estações e nas três profundidades, no povoamento florestal com *P. taeda*. Não houve diferença significativa para biomassa nos blocos do povoamento florestal com *P. taeda*, mostrando que há homogeneidade de comportamento dos diversos tratamentos dentro deles, $7,15 \mu\text{g g}^{-1}$; $6,67 \mu\text{g g}^{-1}$; $6,57 \mu\text{g g}^{-1}$, para os blocos 1, 2 e 3 (Figura 84). A comparação de médias não apresentou diferença significativa ao nível de 95% entre as estações do ano, cujo resultado no inverno foi $5,86 \mu\text{g g}^{-1}$ e no verão de $5,36 \mu\text{g g}^{-1}$. Não foram verificadas interações entre os tratamentos.

Foi realizado o teste de Tukey para a comparação das médias entre as profundidades, em que a biomassa na serapilheira foi $6,65 \mu\text{g g}^{-1}$, na zona de transição $6,19 \mu\text{g g}^{-1}$ e no solo $3,99 \mu\text{g g}^{-1}$, e não diferiram ao nível de 95% de probabilidade

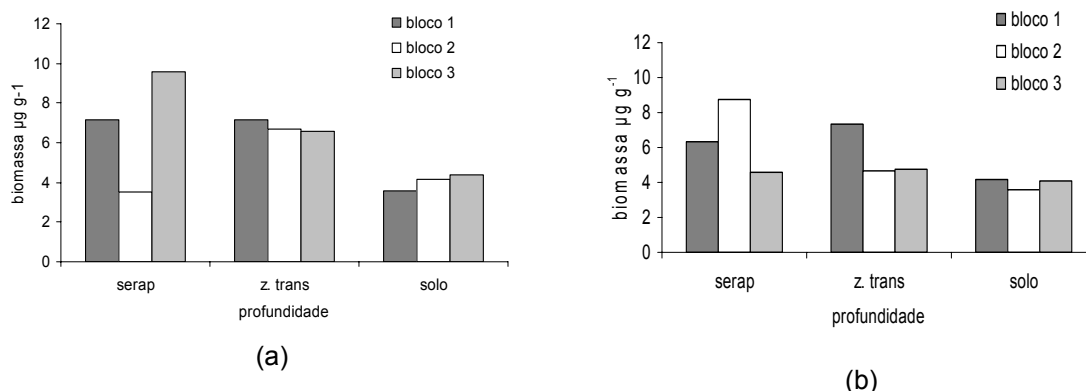


FIGURA 84 – Quantidade de biomassa microbiana ($\mu\text{g g}^{-1}$) nos três blocos, no inverno (a) e verão (b), três profundidades (serapilheira, zona de transição e solo) em povoamento florestal com *P. taeda* em Tijucas do Sul-PR.

Comparação entre ecossistemas

Foi realizado o teste “*t*” de Student para comparar as médias da biomassa microbiana encontradas na Floresta Ombrófila Mista e no povoamento com *P. taeda*, em que se concluiu que essas foram estatisticamente diferentes, ao nível de 95% de probabilidade ($7,02 \mu\text{g g}^{-1}$ e $5,61 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente). Porém as médias para o tratamento “estação” não apresentaram diferenças para os ecossistemas estudados, $6,36 \mu\text{g g}^{-1}$ e $6,26 \mu\text{g g}^{-1}$, para a Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com *P. taeda*, respectivamente.

Maluche-Baretta (2007) comparando três florestas de araucária (natural, reflorestada e reflorestada/queimada) verificou maior biomassa microbiana em floresta natural, sugerindo que tal diferença se refere à qualidade do material orgânico encontrado em cada área associada e maior disponibilidade de nutrientes.

Os maiores valores observados para a Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com pinus foram $7,38 \mu\text{g g}^{-1}$ e $5,86 \mu\text{g g}^{-1}$ (Figura 85), respectivamente, mostraram-se bem inferiores ao observado para Floresta de Araucária, verificado por Maluche-Baretta (2007) de $400,2 \mu\text{g g}^{-1}$. São relatadas variações entre $109 \mu\text{g g}^{-1}$ em florestas com eucalipto e pinus, na região de Viçosa, MG (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES; BARROS, 1997) a $1600 \mu\text{g g}^{-1}$ em solos da Mata da Serra, em Poços de Caldas, MG (CARNEIRO, 2000) foram relatadas.

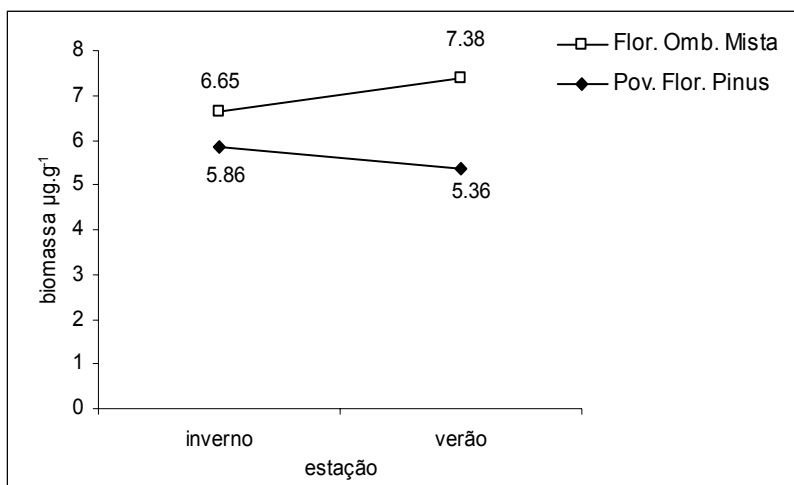


FIGURA 85 – Biomassa microbiana média ($\mu\text{g g}^{-1}$) nas duas estações do ano, nos ecossistemas Floresta Ombrófila Mista e povoamento florestal com *P. taeda* em Tijucas do Sul, BR.

• **Síntese dos resultados para a variável biomassa microbiana**

Floresta Ombrófila Mista

Biomassa microbiana

- bloco não significativa
- profundidade > zona de transição
- estação não significativa
- interação não significativa

Povoamento florestal com *P. taeda*

Biomassa microbiana

- bloco não significativa
- profundidade não significativa
- estação não significativa
- interação não significativa

• **Síntese dos resultados da comparação de médias entre ecossistemas para a variável biomassa microbiana**

Biomassa microbiana da Fl. Ombrófila Mista > que a do povoamento com *P. taeda*

5 CONCLUSÕES

A realização do trabalho permitiu o levantamento e a sistematização dos dados referentes aos ecossistemas, e na análise e interpretação dos resultados, obtiveram-se as seguintes conclusões de acordo com as hipóteses formuladas.

- As estações do ano influenciam o teor de umidade nos ecossistemas florestais.
- É demonstrado por este trabalho que os solos florestais de diferentes ecossistemas apresentam teores de umidade diferentes tanto na distribuição espacial horizontal quanto na distribuição vertical em função da diversidade de espécies, espaçamento, idade das plantas, tipo, tamanho e forma das folhas, arquitetura e forma da copa que influenciam a precipitação efetiva. E, quando considerados individualmente, fatores como toposequência (bloco) e características granulométricas (teores de areia, silte e argila) também resultam em comportamento diferenciado do teor de umidade dentro do ecossistema.
- Os ecossistemas apresentam diferenças na condição nutricional da serapilheira pois há maior disponibilização de nutrientes na Floresta Ombrófila Mista para o Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e N, entretanto, não houve diferença para o P.
- A distribuição da vegetação e diferentes solos nos ecossistemas resultam em variação espacial da condição nutricional da serapilheira. Os ecossistemas apresentam diferentes seqüências de retorno de nutrientes para a serapilheira, sendo para a Floresta Ombrófila Mista $\text{N} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{P}$, enquanto que para o povoamento florestal com pinus foi $\text{N} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{P} > \text{K}$. A maior dinâmica de disponibilização de nutrientes na Floresta Ombrófila Mista pode ser atribuída a dois principais fatores: a maior diversidade de espécies e o menor grau de resistência à decomposição da serapilheira quando comparada às acículas de pinus.
- As diferentes características dos ecossistemas resultam em variação espacial da fertilidade química e características físicas. Os teores de macronutrientes observados são superiores na zona de transição, tanto

para o ecossistema Floresta Ombrófila Mista quanto para o povoamento florestal com *P. taeda*. Os teores de macronutrientes são maiores para a Floresta Ombrófila Mista.

- O teor de matéria orgânica associado à saturação por bases indica que, apesar da MO ser maior no povoamento com pinus, a lenta decomposição do material disponibiliza menor quantidade de bases, mostrando que o ecossistema Floresta Ombrófila Mista é mais eficiente no processo de mineralização da serapilheira e, conseqüentemente, dos maiores teores encontrados na zona de transição.
- A análise de fertilidade e estatística mostram diferentes interpretações para a fertilidade química e características físicas;
- Verifica-se que as estações influenciam nas populações de microrganismos. A maior população é a de bactérias, no verão, para a Floresta Ombrófila Mista e a menor população é a de solubilizadores de fosfato, para o inverno, no povoamento florestal com pinus.
- A ciclagem de nutrientes e as características dos ecossistemas promovem variação vertical e horizontal na distribuição de microrganismos do solo.
- Todos os microrganismos, independente da estação do ano, apresentaram maior número na Floresta Ombrófila Mista no período de verão com exceção dos microrganismos celulolíticos.
- Os ecossistemas apresentam diferentes quantidades e tipos de material disponível, sendo maior a quantidade de biomassa microbiana na Floresta Ombrófila Mista.
- Embora existam diferenças entre as populações de microrganismos para o período de verão e inverno, esta diferença não é refletida na biomassa microbiana, pois não são observadas diferenças entre as estações.
- A biomassa microbiana apresenta-se homogênea quando considerada a distribuição espacial dos blocos para ambos os ecossistemas florestais estudados, sendo maior no ecossistema Floresta Ombrófila Mista.;
- A biomassa microbiana apresenta maior quantidade na zona de transição.
- O povoamento florestal com pinus apresenta homogeneidade espacial horizontal e vertical para a biomassa microbiana.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFUBRA. **A floresta e o solo.** v.3 Disponível em http://www.afubra.com.br/download/serie_ecologia/livro3_br.pdf. Acesso em: 08/03/2008.

ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology.** New York: John Wiley and Sons. 1961. 472 p.

ALEXANDER, M. **Introducción a la microbiología del suelo.** México, D.F.: Libros y Editoriales, 1980. 491p.

ALVARENGA, M. I. N. ; SOUZA, J. A. de **Atributos do solo e o impacto ambiental.** Lavras: ESAL: FAEPE. 1995. 140p.

ALVAREZ, R., et. al. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂ C production from three tillage systems. **Soil & Tillage Res.**, n. 33, p. 17-28, 1995.

ANDERSON, J.M.; SWIFT, J. M. Decomposition in tropical forests. In: SUTTON, S.L.; WHITEMORE, T. C. e CHADWICK, A.C. (ed.). **Tropical rain forest: ecology and management. British Ecological Society.** Oxford: Blacwell Scientific Publications, 1983. v.2 p. 287-309.

ANDERSON, J. P.; DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, n. 10, p. 215-21, 1978.

ANDERSON, J.P.E.; DOMISCH, K.H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. **Soil Science**, Baltimore, n. 130, p. 211-16, 1980.

ANDRAE, F. H. **Ecologia Florestal.** Santa Maria: UGFSM, 1978. 230p.

ANDRADE, G. Interacciones microbianas en la rizosfera. In: SIQUEIRA, J. O. et al. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas.** Viçosa: SBCS, Lavras: UFLa/DCS, 1999. p. 551-575.

ANDREUX, F. Humus in world soils. In: PICCOLO, A. ed. **Humic substances in terrestrial ecosystem.** Amsterdam, Elsevier, 1996. p. 45-100.

ARAÚJO, R.S.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Microrganismos de importância agrícola.** Brasília: EMBRAPA, 1994. 236p.

ARCHIBOLD, O.W. **Ecology of world vegetation.** Canadá: Ed. Chapman Hall, 1995. 510p.

ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V. Fluxo de nutrientes através da precipitação interna e escoamento pelo tronco em floresta natural secundária no Parque Estadual da Serra do Mar, Núcleo Cunha, SP. **Boletim técnico do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 41, n.1, p. 37-58, mar. 1987.

ARCOVA, F. C. S; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em uma microbacia experimental em Cunha-SP. **Revista Árvore**, v.27, n.2, p. 257-262. 2003.

AVERY, T. E.; BURKHART, H.E. **Forest measurements**. New York: McGraw-Hill Book Company, 330p. 1983.

BAATH, E; ARNEBRANT, K. Growth rate and response of bacterial communities to pH in limite and ash treated forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford. n. 8, p. 995-1001. 1994.

BACHELIER, G. **La vie animal dans les sols**. Paris: [s.n.], 1963.

BAKER, J. B; LANGDON, O. G. *P. taeda* L. Loblolly pine. In: BURNS, R, M; HONKALA, B.H. (Eds) **Silvics of North America**. Washington: USDA. Forest Service. v.1, p.497-512, 1990.

BALOTA, E.L.; ANDRADE, D.S. Microrganismos e processos biológicos no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J. O. et al. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS; Lavras: UFLA/DCS, 1999. p. 487-508.

BARROS, N.F.; COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. **Tópicos em Ciência do Solo**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.2, p.487-592, 2002.

BARROTI, G. **Características microbiológicas e físico-químicas de solo adubado com fosfato natural em diferentes tipos de cultivos**. 82 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Araraçua, 1998.

BARTH, R. C. Influence of Pinyon pine trees on soil. **Science American Journal**. v.44, p. 112-114. 1980.

BIZON, J. M. C. **Avaliação da sustentabilidade nutricional de plantios de *Pinus taeda* L. usando um balanço de entrada-saída de nutrientes**. 2005. Dissertação. Piracicaba – ESALQ. 96p.

BLOCK, S. S. **Desinfecion, sterilization and preservation**. Philadelphia: Lea e Febiger, 1991. 1162p.

BOGNOLA, I. A. **Unidades de manejo para *Pinus taeda* L. no Planalto Norte Catarinense, com base em características do meio físico.** Curitiba, 2007. 160 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná).

BONETES, L. **Tamanho de parcelas e intensidade amostral para estimar o estoque e índices fitossociológicos em uma Floresta Ombrófila Mista.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

BORÉM, R. A. T.; RAMOS, D. P. Variação estacional e topográfica de nutrientes na serapilheira de um fragmento de mata atlântica. **Revista Cerne**, Lavras, v.8, n.2, p. 42-59, 2002.

BRADY, N. **The nature and properties of soils.** 8.ed. London: Macmillan Publishing, 1983. 647p.

BRANDÃO, E. M. Os componentes da comunidade microbiana do solo. In: **Microbiologia do solo.** CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. e NEVES, M.C.P. eds. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 1-15, 1992.

BRITEZ, R.M. **Ciclagem de nutrientes minerais em duas florestas da planície litorânea da Ilha do Mel, Paranaguá, PR.** 238 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Setor de Ciências Agrárias da Universidade federal do Paraná, Curitiba, 1994.

BRITEZ, R. M.; REISSMANN, C. B.; SILVA, S. M.; SANTOS FILHO, A. Deposição estacional de serrapilheira e macronutrientes em uma floresta de araucária. São Mateus do Sul, Paraná. In: 2º. CONGRESSO NACIONAL DE ESSENCIAS NATIVAS, 2, 1992). São Paulo. **Anais...** São Paulo: Revista do Instituto Florestal, 1992. v.4, n.3, p. 766 – 772.

BROWN, S.; LUGO, A. The storage and production of organic matter in tropical forest and their role in the global carbon cycle. **Biotropica**, Washington D.C., v. 14, n. 3, p. 161-187, 1982.

BRUM, E. Composição química de acículas verde e da liteira de *Pinus Elliottii* Elgelmam, Curitiba (Brasil). Publ. 2006, **Rev. Floresta**, America do Sul. v.11, n. 1 p. 17-23. 1980.

BRUINJZEEL, L. A.; VENEKLAAS, E. J. Climatic conditions and tropical montane forest productivity: the fog has not lifted yet. **Ecology**. n.179, p. 3-9.

BURGES, A. **Introducción a la microbiología del suelo.** Zaragoza: [s.n], 1969.

BURGUES, A.; RAW, F. **Biología del suelo.** [s.l.]: Omega, 1971. 696p.

CALBRIX, R.; LAVAL, K. & BARRAY, S. Analysis of the potential functional diversity of the bacterial community in soil: A reproducible procedure using sole-carbon-source utilization profiles. **Eur. J. Soil Biol.**, 41:11-20, 2005.

CALDEIRA, M. V. W. **Biomassa, serapilheira acumulada e nutrientes em uma floresta ombrófila mista montana em General Carneiro Paraná**. Curitiba, 2003. 176 fls. UFPR Tese (Doutorado em Engenharia Florestal, Conservação da natureza). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

CALDEIRA, M. V. W.; MARQUES, R.; SOARES, R. V.; BALBINOT, R. **Quantificação de serapilheira e nutrientes** - Floresta Ombrófila Mista Montana – Paraná. **Revista Acadêmica**, Curitiba. v. 5, n. 2; p. 101-116. abril/junho. 2007.

CAMPOS, M. L. et al. **Ciclagem de nutrientes em florestas e pastagens**, 66 p. Disponível em: www.geocities.com/giuliano_marchi/ciclagem.pdf. Acesso em: 20/02/2008

CARDOSO, E. J. B. N. Ecologia Microbiana do solo. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. e NEVES, M.C.P. (Ed.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992.

CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. (Ed.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira do Solo, 1992. 360p.

CARNEIRO, M. A. C. **Características bioquímicas do solo em duas cronosseqüências de reabilitação em áreas de mineralização de bauxita**. 2000. 166 p. Doutorado. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

CARPANEZZI, A. A.; BRITO, J. O.; FERNANDES, P.; JARK FILHO, W. Teor de macro e micronutrientes em folhas de diferentes idades de algumas essências florestais nativas. **Anais da ESA "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v.23, p.225-232. 1976.

CATTELAN; A. J.; TORRES; E.; SPOLADORI, C. L. Sistemas de preparo com a sucessão trigo/soja e os microrganismos do solo, em Londrina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 303-311, 1997.

CERRI, C.C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B.P. O ciclo do carbono (C) no solo. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. e NEVES, M.C.P. (Ed.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 59-71.

CHAVES, R. de Q; CORREA, G. F.. Macronutrients in the soil- *Pinus caribaea* Morelet system with yellowing of the needles followed by senescence and death. **Revista Árvore** [online]. 2005, vol. 29, no. 5 [cited 2008-02-24], pp. 691-700. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010067622005000500004&lng=en&nr_m=iso>. ISSN 0100-6762. doi: 10.1590/S0100-67622005000500004

CIGOLINI, A; MELLO, L. de; LOPES, N. **Paraná: quadro natural, transformações territoriais e economia**. 2ª ed. São Paulo: Saraiva, 2001. 128p.

CLARK, F.E. Actinomyces. In: BLACK, C.A. ed. Methods of soil analysis. Madison, **American Society of Agronomy**. v.2. cap. 106, p. 1498-501, 1965b.

CLAYTON, J. L. Salt spray and mineral cycling in two California coastal ecosystems. **Ecology**, Durhan, v. 53, p. 74-81, 1972.

COLOZZI FILHO, A ; ANDRADE, D. S. ; HUNGRIA, M ; BALOTA, E L ; COSTA, S. M. G. ; CHAVES, J. C. D. . Biological management of agroecosystems. In: **International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture**, 2002, Londrina. Program, Abstracts and Related Documents. Londrina : Embrapa soybean; FAO, 2002. v. 182. p. 92-92.

CORAIOLA, M. **Caracterização estrutural de uma floresta estacional semidecidual localizada no município de Cássia – MG**. 1977, 196 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1977.

CORREA, J. C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C. A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39. n. 12, p. 1231-1237, dez 2004.

COSTA, J. V. B da **Caracterização e constituição do solo**. 3ed. Fundação Calouste Gulbenkian: Lisboa, 1985. 527p.

COUTINHO, L.C. **Avaliação da biodiversidade do solo através de exame de DNA**. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br>>. Acesso em: 18/03/1999.

DE-POLLI, H.; GAMA-RODRIGUES; GUERRA, J.G..M. **Determinação da biomassa microbiana do solo: avanços e limitações**. Disponível em: <<http://www.cnpab.embrapa.br>> . Acesso em 13/08/2005.

DE POLLI, H; GUERRA, J. G.M **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: Método da fumigação-extração**. Seropédica: Embrapa-CNPAB, 1997. 10 p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 37).

DE-POLLI, H; GUERRA, J.G. M. **Carbono, nitrogênio e fósforo na biomassa microbiana do solo**. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Gênese, 1999. p. 389-411.

DELAMARE-DEBUTTEVILLE, C. Microfaune du sol des pays tempérés et tropicaux. **Act. Sci. et. Ind.** Hermann, Paris, n.1160, 1951.

DELITTI, W.B.C. Estudos de ciclagem de nutrientes: Instrumentos para a análise funcional de ecossistemas terrestres. **Ecologia brasiliensis**, n. 1, p. 469-486, 1995.

DEMATTE, J. L. I. **Manejo de solos ácidos dos trópicos úmido da região amazônica**. Campinas. Fundação Cargill, 1988. 215 p.

DIAS, J. B.; SANTOS, L. J. **Aspectos geomorfológicos e o diagnóstico socioambiental do meio rural da Região Metropolitana de Curitiba**. SINAGEO, 5, Santa Maria, RS, 2004. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2004.

DIONÍSIO, J. A.. **Atividades microbianas em diferentes sistemas de cultivo de Eucalyptus grandis (W. Hill ex Maiden)**. 90 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

DOMMARGUES, Y. & MANGENOT, F. **Écologie microbienne du sol**. Paris, Masson & Cie. 1970. 766p.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Atlas Geo**. Descrições geomorfológicas do Estado de Santa Catarina, 1986.

DRUMOND, M. A. BARROS, N. F.; SOUZA, A. L.; SILVA, A. F.; TEIXEIRA, J. L. Composição mineral e demanda nutricional de espécies florestais da mata Atlântica. **Revista Árvore**. Viçosa, v.21, n.1, p.1-10, 1997.

DUVIGNEAUD, P. O ecossistema. In: **A síntese ecológica**. 2. ed. Lisboa: Instituto Piaget, 1980. p. 63-69.

EIRA, A.F.; CARVALHO, P.C.T. Levantamento de microrganismos solubilizadores de fosfatos. **Rickia**, São Paulo, n. 5, p. 111-124, 1970.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2ª ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2006. 306p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Ed. Planta., 2006. 403 p.

FAO. **Manual de inventário forestal con especial referencia a los bosques mistos tropicales**. Roma, 1974. 195p.

FASSBENDER, H. W. Ciclos da matéria orgânica e dos nutrientes em ecossistemas florestais dos trópicos. In: Cabala-Rosand, P. (ed) **Reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos**. Ilhéus. Bahia. CEPLAC, 1985. p. 203-230

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

FERREIRA, C. **Conservação e manejo sustentável de ecossistemas florestais da:** relatório de atividades PELD Pesquisas Ecológicas de Longa Duração) – SITE 9 (sítio 9), Bioma Floresta de Araucária e suas transições, (2004).

FERREIRA, M. C.; CRUZ, M. C. P. da. *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. (pg 221 tese).

FRANKLAND, J. C. Fungal succession-unravelling the unpredictable. **Mycological Research**, v. 102, p. 1-15. 1998.

FREESE, F. **Elementary forest sampling**. Madison, Forest Product Laboratory, USDA For. Serv. 1962. 87p. Agriculture handbook, n. 232.

FREIRE, J.R. J. **Microbiologia do solo**. Porto Alegre: UFRGS, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, 1975. 234p. Apostila.

FRIGHETTO, R.T.S.; VALARINI, P. J. (Coords.). **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo:** manual técnico. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. 198p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 21).

FRIGHETTO, R.T.S. **Análise da biomassa microbiana em carbono: Método de Fumigação – Extração**. In: FRIGHETTO, R.T.S.; VALARINI, P. J. (Coords.). **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo:** manual técnico. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. 198p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 21).

FURTINI, NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; VALE, F. R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A. Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas, na fase de muda. **Revista Cerne**, Lavras, v.5, n.2, p.1-12, 1999.

GALETI, P. A. **Guia do Técnico agropecuário:** solo. Campinas: Instituto Campineiro de ensino agrícola, 1983, 142p.

GALVÃO, F.; ZILLER, S. R. e BUFREM, A.M. Decomposição de folhas de algumas espécies arbóreas. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, v. 1, n. 1-2, p. 161-168, 1992.

GAMA-RODRIGUES, E.F. da; DE-POLLI, H. **Biomassa na ciclagem de nutrientes**. Disponível em: <<http://www.cnpab.embrapa.br>> Acesso em:13/08/2005.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 21, p. 361-365, 1997.

GAMA RODRIGUES, E. F. da; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de; DE POLLI, H. Biomassa microbiana de carbono de solos de Itaguaí (RJ): comparação entre os métodos de fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.18, p.427-432, 1994.

GANHO, N. G.; MARINONI, R. C. A variabilidade espacial das famílias de Coleoptera (Insecta) entre fragmentos de Floresta Ombrófila Montana (Bioma Araucária) e plantação de *Pinus elliottii* Engelman, no Parque Ecológico Vivat Floresta, Tijucas do Sul, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**. 23 (4):1159-1167, dezembro 2006.

GAZETA DO POVO ONLINE. PR reduz ritmo de desmatamento. Acesso em 28/05/2008. Disponível em: <http://ofir4news.com.br>.

GHIZELINI, A. M. **Sucessão de fungos em acículas de *Pinus taeda* em decomposição**. 2005. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

GOLLEY, F. B.; McGINNIS, J. T.; CLEMENTS, R. G.; CHILD, G. I.; DUEVER, M. J. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida**. São Paulo: E.P.U. EDUSP, 1978.

GOLLEY, F.B. Nutrient cycling and nutrient conservation. In: GOLLEY, F.B. (ed.). **Tropical rain forest ecosystems: structure and function, biogeographical and ecological studies** 14 A. Amsterdam: Elsevier, 1983a. p. 137-166.

GOMIDE, G. L. A. **Estrutura e dinâmica de crescimento de florestas tropicais primária e secundária no Estado do Amapá**. Curitiba, 1997. 124f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná).

GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de adubação para Eucalyptus, Pinus e espécies típicas da Mata Atlântica. ESALQ/USP. **Documentos Florestais**, v.15, p. 1-23, 1995.

GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. 427p.

GOODFELLOW, M; CROSS, T. Actinomycetes. In: DICKISON, C. H.; PUGH, G. J. F. (Ed) **Biology of plant litter decomposition**. London: Academic Press, 1974. p. 269-302.

GRAY, T.R.G.; WILLIAMS, S.T. **Soil micro-organisms**. 2. ed. London: Longman, 1975. 240p.

GRISI, B.M. Biomassa e necessidades energéticas das populações microbianas de solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1988, Campinas. **A responsabilidade social da ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 353-364. 1988.

GRISI, B.M. Metodologia da determinação de biomassa microbiana de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n. 8, p.167-72, 1984.

GRISI, B.M.; GRAY, T.R.G. Comparação de métodos de fumigação, taxa de respiração em resposta a adição de glicose, e conteúdo de ATP para estimar a biomassa microbiana dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n. 10, p.1209-15, 1986.

GRUB, P.J. Control of forest growth and distribution on Wet Tropical Mountains: with special reference to plant nutrition. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v.8, p. 83-107, 1977.

GRUB, P.J. Mineral nutrition and soil fertility in tropical rain forests. In: LUGO, A.E.; LOWE, C. (Ed.). **Tropical Forests: management and ecology**. New York: Springer, 1995. P. 308-330. (Ecological Studies, v. 112).

GUEDES, S. de F. F. **Carbono Orgânico e Atributos Químicos do Solo em áreas Florestais no Planalto dos Campos Gerais**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo – Universidade estadual de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

GUO, L.; SIMS, R.E.H.. **Litter production and nutrient return in New Zealand Eucalypt short-rotation forests**: Implications for land management. *Agric. Ecosyst. Environ.* 73:93–100. 1999.

HAAG, H.P.; VALERA, F.P.; CHIARANDA, R.; KIKUTI, P.; CHAVEZ, J.M.; DONALD, G.L. DE F.; RIZZO, L.T.B.; RUEDA, J.L. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 144p.

HARRIS, R.F. Effect of water potential on microbial growth and activity. In: PARR, J.; GARDNER, W.R.; ELLIOT, L.F. (Ed.). **Water potential relation in soil microbiology**. Madison: Soil Sciences Society American, 1981.

HART, R. D. **Agroecosistemas; conceptos básicos**. Centro Agronomico de Investigación y Enseñanza. Turrialba: Costa Rica, 1980. 211p.

HEANEY, A.; PROCTOR, J.. Chemical elements in litter in forests on Volcán Barva, Costa Rica. In: PROCTOR, J., **Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems**. [s.l.]: Blakwell Sci, Publications, 1989. P. 255-271.

HOEL, P. G. **Estatística elementar**. São Paulo: Atlas. 1977. 430p.

HOFFLAND, E.; FINDENEGG, G.R.; NELEMANS, J.A. Solubilization of rock phosphate by rape. I. Evaluation of the role of the nutrient uptake pattern. **Plant and soil**. Dordrecht., n. 113, p.115-160, 1989.

HOLM-HANSEN, O. The use of ATP determinations in the ecological sites. In: ROSSWAL, T. (Ed.) Modern methods in the study of microbial ecology. **Bulletins from the Ecological Research Committee**, Stockholm, n. 17, p.179-188, 1972.

HOSOKAWA, R. T. **Introdução ao manejo e economia florestal**. Curitiba: UFPR, 1988. 162p.

HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA, 1994. 542p.

HUSCH, B. **Planing a forest inventory**. FAO Forest products studies no. 17. Rome, 1971. 120p.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS T.W. **Forest mensuration**. 2. ed. New York: John Wiley Sons, 1982. 402p.

IAPAR - INSTITUTO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina, 1978. 41p.

IAPAR - INSTITUTO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Análise de solo e respectivos métodos de extração e determinação**. 2000.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 1992. 92p. (Séries Manuais Técnicos em Geociências, n. 1).

INSAM, H. e DOMSCH, K.H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chrono sequences of reclamation sites. **Microbial Ecol.**, n. 15, p. 177-188, 1988.

ISERNHAGEN, I. **A fitosociologia florestal no Paraná e os programas de recuperação de áreas degradadas**. Curitiba, 2001. 219f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

JAYACHANDRAN, K.; SCHWAB, A. P.; HETRICK, B. A. D. Mycorrhizal mediation of phosphorus availability: synthetic iron chelate effects on phosphorus solubilization. **Soil Sci. Am. J.**, Wisconsin, n. 53, p. 1701-1706, 1989.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S.; WEDDERBRUM, R. W. M. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. III. The relationship between soil biovolume, measured by optical microscopy and the flush of decomposition caused by fumigation. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, 8: p. 189-202. 1976.

JENKINSON, D.S.; RAYNER, J.H. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted Classical Experiments. **Soil Science**, n. 123, p. 298-305, 1977.

JENKINSON, D.S.; DAVIDSON, S.A.; POWLSON, D.S. Adenosine triphosphate and microbial biomass in soil. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, n. 11, p. 521-27, 1979.

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD, J. N. EDS. **Soil biochemistry**, New York: Marcel Dekker, 1988. v.5, p. 415-471.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatment on metabolism in soil - I. Fumigation with chloroform. **Soil Biol. Biochem.**, p. 8, p.167-177, 1976.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatment on metabolism in soil - V. Method for measuring soil biomass. **Soil Biol. Biochem.**, n. 8, p. 209-213, 1967.

JENY, H.; GESSEL, S.P.; BINGHAM, F. T. **Comparative study of decomposition rates of organic matter and tropical regions**. Soil Science, Philadelphia, USA, n. 68p. 419-432. 1949.

JOHNSON, F. A.; HIXON, H. J. The most efficient size and shape of plot to use for cruising in old-growth Douglas- Fir timber. **Journal of Forestry**, Washington. n.50, p. 17-20, 1952.

JONES, D.; SMITH, B. F. L.; WILSON, M. J.; GOODMAN, B. A. **Phosphate solubilizing fungi in a scottish upland**. **Mycol. Res. Cambridge**. 95: 109010-93, 1991.

JORGE, J. A. **Solo**: manejo e adubação: compêndio da edafologia. 2 ed. São Paulo: Nobel, 1983. 315p.

KHAN, M.R.; WILLIAMS, S.T. Studies on the ecology of actinomycetes in soil - VIII. Distribution and characteristics of acidophilic actinomycetes. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, n. 7, p. 345-8, 1975.

KOEHLER, C.W; REISSMANN, C. B. KOEHLER, H. S. Deposição de resíduos orgânicos (serapilheira) e nutrientes em plantio de *Araucária angustifolia* em função do sítio. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**. Curitiba, v.9, p. 89-96, 1987.

KULOW, D. L. Comparison of forest sampling designs. **Journal of Forestry**, Washington, v.64, n.7, p.469-474. 1966.

- LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**. Eschborn: GTZ, 1990. 343p.
- LA BASTIDE, J. G. A; GOOR, C. P. van. Growth site relationships in plantation of *Pinus elliotti* and *Araucaria angustifolia* in Brazil. **Plant & Soil**. Ed. Springer, Netherlands Austrália. v.32, n.2. p. 349-366. 1970.
- LEITE, P.F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. p. 113-150.
- LIMA, W. P. **Estudos de alguns aspectos quantitativos e qualitativos do balanço em plantações de eucaliptos e pinus**. 1975. 111f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 1975.
- LOPES, A.S.; COELHO, J. G. Micronutrientes: critérios de diagnose para o solo e planta, correção de deficiências e excessos. In: BORKERT, C. M; LANTMAN, A. F. (Ed.) **Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira**. Londrina: EMBRAPA-IAPAR-SBCS, 1988. p. 133-178.
- LOPES, S. A. **Manual internacional de fertilidade do solo**- tradução e adaptação. 2 ed., ver. e ampl. Piracicaba: POTAFOS, 177p. 1998.
- LONGHI, S. J. **Agrupamento e análise fitossociológica de comunidades florestais na sub-bacia hidrográfica do Rio Passo Fundo – RS**. Curitiba, 1997. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná.
- LUIZÃO, R.; FREITAS, M. de; LUIZÃO, F.; ALFAIA, S. **Nutrientes da camada de liteira, biomassa microbiana e mineralização do nitrogênio nos sistemas agroflorestais do RECA, em Rondônia**. Disponível em: www.sbsaf.org.br/anais/2002/trabalhos/6031.pdf. Acesso em: 31/05/2008. 4p.
- LYNCH, J. M; WHIPPS, J. M. Substrate flow in the rhizosphere. **Plant and Soil**, 129, p. 1-10. 1990
- MACHADO, P. L. O. de A. **Considerações gerais sobre a toxicidade do alumínio nas plantas**. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS, 1997. 22p.
- MACHADO, S. A. Complete enumeration forest inventory versus cluster sampling method applied in the amazonic rain forest. **Revista Floresta**. V. 18, n.1-2, p.122-133, 1988.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. Nutrição mineral de plantas. In: **Curso de atualização em fertilidade do solo**. Ilha Solteira: Fundação Cargill. 1987. p. 32-101.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; DE OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.

MALLEUX, J. Inventarios forestales en bosques tropicales. Lima, 1982. 414p.

MALUCHE-BARETTA, C. R. D. **Diversidade microbiana em solos sob florestas de *Araucaria angustifolia***. 2007. 184p. Doutorado. ESALQ/USP. Piracicaba, 2007.

MARTENS, R. Current methods for measuring microbial biomass carbon in soil: Potentials and limitations. **Biol. Fertil. Soils**, Berlin, n. 19, p. 87-9, 1995.

MARTINS, F. R. **Estrutura de uma floresta mesófila**. Campinas: Editora da UNICAMP, 1993, 246p.

MASON, C.F.. **Decomposição**. São Paulo, EPU/EDUSP, 1980. 62 p.

McLEAD, K.W.; SHERROD, Jr.C.; P
ORCH, J.E. Response of longleaf pine plantation to litter removal. **Forest Ecology and management.**, v. 2, n. 1-12, 1979.

MEHLICH, A. **The Significance of Percentage Base Saturation and pH 1 N Relation to Soil Differences**. Soil Science Society of America Proceedings. Wisconsin, USA. v: 7, p. 167-173, 1942.

MELLO, F. de A. F. de et al. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983.400p.
MORRISON, I. K. Decomposition and element release from confined jack pine needle litter on and in the feathermoss layer. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 33, n. 1, p.16-22, 1983.

MENZIES, J. D. Fungi. In: BLACK, C. A. ed. **Methods of soil analysis**. Madison, American society of Agronomy. v.2. cap 107. 1502-1505, 1965.

MILLAR, W.N.; CASSIDA, L.E. Evidence for muranic acid in soil. **Microbial**. Otawa, n. 16, p.299-304, 1970 .

MINDERMAN, G. Addition, decomposition and accumulation of organic matter in forests. **Journal of Ecology**, Oxford. n. 56, p.355-362, 1968.

MIROV, N. T. **The genus *pinus***. New York: Ronald Press, 1967. 602p.

MOLCHANOV, A.A. **Hidrologia florestal**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1971. 491p.

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

MORAES, R. M.; DELITTI, W. B.C.; STRUFFALDI-DE VUONO, Y. Litterfall and litter nutrient content in two Brazilian tropical forests. **Revista Brasileira de Botânica**. São Paulo, v. 22, n.1, p. 9-16. 1999.

MOREIRA, P. R.; SILVA, O. A. da. Produção de serapilheira em área reflorestada. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.1. p. 49-59, 2004.

MOREIRA, F.M.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 626p.

MOZAFFARI, M.; SIMS, T. S. Phosphorus availability and sorption in an Atlantic coastal plain watershed dominated by animal based agriculture. **Soil Science**, Baltimore, v. 157, n.2, p. 97-107. 1994.

NAHAS, E. Solubilização microbiana de fosfatos e de outros elementos. In: SIQUEIRA, J. O., et al. (Ed.) **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBC; Lavras: UFLA/DC, 1999. 818p.

NUERNBERG, N.J.; VIDOR, C. & STAMMEL, J.G. **Efeito de sucessões de culturas e tipos de adubação na densidade populacional e atividade microbiana do solo**. R. Bras. Ci. Solo, 8:197-203, 1984.

ODUM, H. T. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988.

ODUM, H.T. Rain forest structure and mineral cycling homeostases . In: ODUM, H.T.; PIGEON, R. F. (Eds). **A tropical Rain Forest**. Washington, D. C.: Division of Technical Information, YS Atomic Energy Commission, 1970. p. 3-52.

ODUM, H. T; ODUM, E. C; BROWN, M. T.; LAHART, D.; BERSOK, C.; SENDZIMIR, J.; SCOTT, G. B.; SCIENCEMAN, D.; MEITH, N. **Sistemas ambientais e políticas públicas**. Programa de Economia Ecológica, Phelps Lab. Universidade da Flórida, Gainesville. Jul. 1987.

OLIVEIRA JR. J. C. de e DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da mata atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, n. 001, v. 29, p. 9-15. jan. fev. 2005.

OLSON, J.S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, v. 44, n. 2, p. 322-331, 1963.

OSAKI, F. (eds). **Olericultura integrada: desafios da olericultura moderna, alternativas e soluções para o cultivo de hortaliças**. Curitiba, 2005. 516p.

OVINGTON, J.D. **Studies of the development of woodland conditions under different tress.** J. Eccl. N. 46, p. 127-142. 1958.

PARCHEN, C. A. P. **Desenvolvimento de metodologia para mensuração de alguns parâmetros de processos hidrológicos de superfície em ambiente florestal.** Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

PARKINSON, D.; GRAY, T. R. G.; WILLIAMS, S.T. **Methods for studing the ecology of soil microorganisms.** Oxford, Blackwell Scientific Publications. 116p 1971.

PAUL, E. A; CLARK, F.E., (eds). **Soil microbiology and biochemistry.** New York: Academic Press, 1989. 273p.

PELCZAR, M.; REID, R.; CHAN, E.C.S. **Microbiologia.** São Paulo: McGraw-Hill, 1980. v.1 566p.

PÉLLICO NETO, S.; BRENA, D. A. **Inventário florestal.** Curitiba: Editorado pelos autores, 1997. 316p.

PEÑA, M. L. P. **Indicadores microbiológicos de solo na avaliação da recuperação de área degradada de floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no Litoral Paranaense - Brasil.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

PICCOLO, A. **Húmus substances in terrestrial ecosystems.** Amsterdam: Elsevier Science, 1996.

PIZZATTO, W. **Avaliação biométrica da estrutura e da dinâmica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo - PR: 1995-1998.** 154 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrients em florestas nativas. In: **Nutrição e fertilização florestal.** Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – Piracicaba – SP. 2000. Ed. Gonçalves J. L. de m e Benedetti, V. cap. 10, p. 287-308.

POGGIANI, F. Nutrient cycling in Eucalyptus and Pinus plantations ecosystems silvicultural implications. **IPEF.** Piracicaba, n.31, p.33-40, Dez. 1985.

POGGIANI, F. Nutrient cycling *Eucalyptus* and *Pinus* plantation ecosystems: silvicultural implications. In: **WORKSHOP ON BIOCHEMISTRY OF RAIN FORESTS: PROBLEMS FOR RESEARCH,** Piracicaba, 1987. **Proceedings.** Piracicaba: CENA, 1987. p.39-46.

PÖTTER, R.O.; CARVALHO, A.P. de; FLORES, C. A.; BOGNOLA, I.A. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS; EMBRAPA-CNPF, 2004. (Série: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 46).

POWLSON, D.S.; BROOKS, P.C. e CRISTENSEN, b.t. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter dur to straw incorporation. **Soil Biol. Biochem.** n. 19, p.159-164, 1987.

PRESCOTT, C.E.; ZABEK, L. M.; STALEY, C. L.; KABZEMS, R. Decomposition of broadleaf and needle litter in forests of British Columbia: influences of litter type, and litter mixtures. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 30, n.11, p.1742-1750, 2000.

PROCTOR, J. Tropical forest litterfall I. Problems of data comparison. In: SUTTON, S. L., WHITEMORE, T. C.; CHADWICK, A. C. (ed.). **Tropical rain forest: ecology and management**. British Ecological Society, v.2. Blacwell Scientific Publications, 1983. Oxford. p. 267-273.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. e FURLANI, A. M. L. Recomendações de adubação e de calagem para o estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997. 285p. (**Boletim Técnico 100**).

RANGEL, M.S.; CALEGARIO, N.; MELLO DE, A.A.; LEMOS, P.C. Melhoria na precisão de manejo para floresta natural. **Cerne**, Lavras, v.12, n.2, p. 145-156, abr-jun. 2006.

RANGER, J.; TURPAULT, M. P. Input-output nutrient budgets as a diagnostic tool for sustainable forest management. **Forest Ecology and Management**. v. 122, n.1. p.134-139, 1999.

RAO, S. In: **Microbiologia e bioquímica do solo**. Fátima Maria de Souza; José Oswaldo Siqueira. Lavras: Editora UFLA. 626p. 2002.

REBELLO, C.F. **Ciclagem de nutrientes minerais em Floresta Pluvial Tropical de Encosta e em Floresta sobre Restinga na Ilha de Cardoso, Cananeias, São Paulo: decomposição de serapilheira**. 133 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

REESE , E. T. Microbial transformation of soil polysaccharides. **Scient. Varia**, n.32, p. 535-577. 1968

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987.

REMEZOV, N.P. The method of studying the biological cycle of elements in forests. **Pochvovedenie**, n. 1, p.71-79, 1959.

RESENDE, M., CURY, N., SANTANA, D. P. **Ciências agrárias nos trópicos brasileiros. Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações.** Brasília: Ministério da Educação, Lavras, ESALQ – Piracicaba e POTAFOS, 1989. 155p.

RICKLEFS, R.E. **A economia da natureza.** 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, Koogan., 1996.

RIGOBELLO, E. C.; NAHAS, E. **Seasonal fluctuations of bacterial population and microbial activity in soils cultivated with eucalyptus and *pinus*.** *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)*, ene./feb. 2004, vol.61, no.1, p.88-93. ISSN 0103-9016

ROSADO, A.S.; DUARTE, G.F.; MENDONÇA-HAGLER, L.C. A moderna microbiologia do solo: aplicação de técnica de biologia molecular. In:

ROSS, D. J.; TATE, K. R.; CAIRNS, A.; PANSIER, E. A. Microbial biomass estimations in soils from Tussok grass lands by three biochemical procedures. **Soil. Biol. Biochem.** Oxford, 12: 375-383, 1980.

ROWEL, R. N. **The microbiology of terrestrial ecosystems.** New York: Longman Scientific; Technical, 1981.

SALET, R. L. **Toxidez de alumínio no sistema de plantio direto.** Porto Alegre, 1998. 109p. (Doutorado). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SAMPAIO, E. V. S. B. et. al. A model of litterfall, litter layer losses and mass transfer in a humid tropical forest at Pernambuco, Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 9, p. 291-301, 1993.

SANQUETTA, C. R. et al. **As florestas e o carbono.** Curitiba: UFPR, 2002. 265p.

SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Genesis, 1999.

SANTOS, V.D. dos. Ciclagem de nutrientes minerais em Mata Tropical Subcaducifólia dos Planaltos do Paraná (Parque Estadual Vila Rica do Espírito Santo – Fênix/PR). 387 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade São Carlos, São Carlos, SP.,. 387p. 1989

SCARPINELLA, G.D'A. **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Quioto.** 2002. 182 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SCHEER, M.B. **Ciclagem de nutrientes em um trecho de Floresta Ombrófila Densa Aluvial em regeneração, Guaraqueçaba, PR.** 155f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SCHLEGEL, H. G. Mecanismos de controle regular das bactérias do solo. **Programa Biodinâmico Produt. Solo**, Santa Maria, p. 43-56. 1968.

SCHNÜRER, J.; CLARHOLM, M.; ROSSWALT, T. Microbial boomass and activity in an agricultural soil with different organic matter contents. **Soil Biol. Biochem.**, n.17, p. 611-618, 1985.

SCHUMACHER, F. X, BRUCE, D. **Forest mensuration**. New York: MacGraw Hill. Book Company Inc. 1950. 483p.

SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Biosci. Journal**. Uberlândia, v. 23, n.4, p.29-39. out.-dez. 2007.

SEMA. **Biodiversidade, conceitos e práticas para a conservação**. Curitiba: SEMA 2007. 79p.

SIMÕES, J. W.; COUTO, H. T. Z. **Efeitos da omissão de nutrientes na alimentação mineral de pinheiro do Paraná** (Araucária angustifolia (Bert.) O. Ktze.) cultivado em vaso. IPEF, n. 7, p. 3- 40, 1973.

SILVA, J. N. M. **Eficiência de diversos tamanhos e formas de unidades de amostra aplicadas em inventário florestal na região do Baixo Tapajós**. Curitiba, 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

SILVA, A. C.; SANTOS, A. R. dos e PAIVA, A. V. de. Translocação de nutrientes em folhas de Hevea brasiliensis (clone) e em acículas de Pinus oocarpa. **R. Un. Alfenas**, Brasília (Distrito Federal), n.4, p. 11-18. 1998.

SINGH, K. D. Reconocimientos forestales: patrones de variación espacial en la selva tropical. **Unasyuva**, Roma, v. 26, n. 106, p. 18-23, 1974.

SIQUEIRA, C. Calagem para plantas forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE CALAGEM E ADUBAÇÃO DE PASTAGENS, 1. Nova Odessa, SP, 1985. **Anais...**Nova Odessa, 1985, 476p.

SIQUEIRA, J. O. **Biologia do solo**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 230p.

SIQUEIRA, J.O.; MORREIRA, F.M. de S.; GRISI, B. M.; HUMGRIA, M.; ARAÚJO, R. S.; ed. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectivas ambiental**. Brasília: EMBRAPA, 1994. 142p.

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC, ABEAS; Lavras: ESAL, FAEPE, 1998. 236p.

SMITH, J.L.; PAUL, E.A. The significance of soil microbial biomass estimation. In: BOLLAG, J.M.; STOTZKY, G. EDS. **Soil biochemistry** v. 6, p. 357-396. 1990.

SOUZA, J. A. Avaliação **das estratégias de recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita em Poços de caldas**, 1997. 104p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Lavras, MG.

SOUZA, J. A. e DAVIDE, A. C. Deposição de serapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. Revista **CERNE**, v.7, n.1, p.101-113, 2001

SOUTO, P. C. **Acumulação e decomposição da serapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de caatinga na Paraíba**, Brasil. Areia: UFPB, 2006. 150p. Tese Doutorado

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Aust. J. Soil Res.**, n. 30, p. 195-207, 1992.

SOUZA, J. A.; DAVIDE, A. C. Deposição de serapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracatinga (*Mimosa scabrella*) eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. **Cerne**, Lavras, v.7, n.1, p. 101-113, 2001

SPARLING, G.P.; EILAND, F.A. A comparison of methods for measuring ATP and microbial biomass in soils. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, n. 15, p.227-229, 1983.

SPARLING, GP. **Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health**. Pp. 97-119 en: C Pankhurst; BM Doube & VVSR Gupta (eds). *Biological indicators of soil health*. CAB International. Oxon. . 1997

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. São Paulo: Makron Books, 1993. 643p.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**: resumo da teoria – 875 problemas resolvidos, 619 problemas propostos. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1997. 580p.

STEUBING, L. Soil flora: studies of the number and activity of microorganisms in woodland soils. In: REICHILE, D.E. (Ed.) **Analysis of temperature forest ecosystems**. Berlin: Springer-Verlag, 1973. P. 131-46.

STEVENSON, F.J. **Cycles of soil**: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York : John Wile, 1986. 380p.

SWART, P.H.; VAN DIEST, A. The rock-phosphate solubilizing capacity of *Pueraria javanica* as affected by soil pH, superphosphate priming effect and symbiotic N₂ fixation. **Plant and soil**. Dordrescht. n. 100, p. 135-147,1987.

SWIFT, M.J. Estimation of mycelial biomass by determination of the hexosamine content of wood lime decayed by fungus. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, n. 5, p. 321-332, 1973.

SWIFT, M.J.; HEAL, O.W. e ANDERSON, J.M., eds. The influence of resource quality on decomposition processes. In: *Decomposition in interrestrial ecosystems*. Berkeley, University of California Press, 1979. p. 118-166.

SYLVESTER – BRADLEY, R.; ASKAWA, N.; TORRACA, S. La.; MAGALHAES, F.M.M.; OLIVEIRA, La.; PEREIRA, R. M. Levantamento quantitativo de microorganismos solubilizadores de fosfato na rizosfera de gramíneas e leguminosas forrageiras da Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, 12: 15-22, 1982.

TANNER, E.V.J. The decomposition of leaf litter in Jamaican montane rain forest. **Journal of Ecology**, n. 69, p.263-275, 1981.

TATE, Robert L. **Soil microbiology**. 2nd ed. New York: Paperback Library, 2000. 508 p. ISBN 0-471-31791-8

TAUK, S. M. Biodegradação de resíduos orgânicos no solo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, n. 1-4, p. 299-301. 1990.

TELLO, J. C. R. **Eficiência e custos de diferentes formas e tamanhos de unidades de amostra em floresta nativa de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze no sul do Brasil**. 144f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

THOMAS, W. A. Decomposition of loblolly pine needles with and without addition of dogwood leaves. **Ecology**, Furham, v.49, n.3, p.568-571, 1968.

TOME, Jr., J. B. **Manual para interpretação de análise de solo- Gauíba: agropecuária**, 1997, 247p.

THORTON, H. G. On the development of a standardized agar medium for counting soil bacteria with special regard to the repression of spreading colonies. **Annals of Applied Biology**, Cambridge, v.9, 241-74, 1922.

TISDALE, S. L; NELSON. W. L; BEATON, J. D. **Soil Fertility and Fertilizers**. Basic Soil – Plant Relationships. Fourth Edition. Macmillan Publishing Company. New York, USA. 1985.

TOLEDO, L.O.; PEREIRA, M.G.; MENEZES, c.e.g. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em florestas secundárias localizadas na região de Pinheiral, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Mariana, v. 12, n.2, p. 9-16, 2002.

TSAI, S.M.; ROSSETTO, R. Transformações microbianas do fósforo. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Coord.) **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360p.

TURCO, R.F.; BLUME, E. Indicators of soil quality. In: SIQUEIRA, J.O. et al. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS; Lavras: UFLa/DCS, 1999. p. 529-550.

UNESCO. Decomposition and biogeochemical cycles. In: UNESCO. **Tropical forest ecosystems: a state knowledge report prepared by UNESCO-UNEP-FAO**. France, 1978. P. 270-285.

VALARINI, P.J. **Determinação de actinomicetos, leveduras, bacterias esporulantes, solubilizadores de fosfatos e celulolíticos no solo**. In: Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo. Coords. Frighetto R. T. S.; Valarini P. J. Manual Técnico. Jaquariuna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 198p. (documentos 21).

VALPASSOS, M. A. R; MALTONI, K. L; CASSIOLATO, A. M. R.; NAHAS, E. Recovery of soil microbiological properties in a degraded área planted with *Corymbia citriodora* and *Leucaena leucocephala*. **Sci. Agric.** Piracicaba, v. 64, n.1, p. 68-72, jan. feb. 2007.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biol Biochem.**, 19: p. 703-707, 1987.

VANCE, G. F.; STENVENSON, F. J.; SIKORA, F. J. Environmental chemistry of aluminium-organic complexes. In: SPOSITO, G. (Ed.). **The environmental chemistry of aluminium**. Boca Raton: Lewis, 1995. p. 169-220.

VAHCHENKO, Y. PIOVESAN, R. P., LIMA, M. R. de., FAVARETTO, N. Solos e vegetação dos picos Camacua, Camapuã e Tucum. Campina Grande do Sul- Pr. Revista Scientia Agrária, v 8, n. 4, p. 411-419, 2007.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 35-42, 2000.

VELOSO, H.P.; RANGEL-FILHO, A.L.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. IBGE, Rio de Janeiro, 1994. 123p.

VEIGA, Milton da; AMADO, Telmo Jorge Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento. **Manual de uso, manejo e conservação do solo e da água: Projeto de recuperação, conservação e manejo dos recursos naturais em microbacias hidrográficas**. 2.ed.rev., atual., e ampl. Florianópolis: EPAGRI, 1994. p.165-187.

VEIGA FILHO, A. A. ; SANTOS, Z. A. P. S. ; VEIGA, J. E. R. ; OTANI, M. N. ; YOXHI, R. J. Análise da mecanização do corte da cana-de-açúcar no Estado de São

Paulo. **Informações Econômicas**, v. 24, n. 10, p. 43-58, 1994 verificar

VIDAL, M. A.S. **Análise biométrica da regeneração natural de algumas espécies em uma Floresta Estacional Semidecidual localizada no município de Cássia – MG**. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

VICTORIA, R.L; PICCOLO, M. C, VARGAS, A. A. T. O ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Ed.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira do Solo, 1992. 360p.

VIEIRA, L. **Manual da ciência do solo**. São Paulo, Ed Agrônômica Ceres, 1975. 461p.

VIEIRA, S. **Elementos de Estatística**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999.146p.

VILLELA, S. M. e MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo : Mc Graw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

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.

WARDLE, D.A. A comparative assesment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biol. Rev.**, n. 67, p. 321-358 , 1992.

WARDLE, D.A.. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. (ed.). **Manual de métodos empregados em estudos** de microbiologia agrícola. Brasília: EMBRAPA, 1994. P.419-36.

WARDLE, D. A.; PARKINSON, D. Interactions between microbial variables and the soil microbial biomass. **Biol. Fertil. Soils**. Berlin, 9: p. 272-280. 1991

WEDDERBURN, M. E.; CARTER, J. Litter decomposition by four functional tree types for use in silvopastoral systems. **Soil Biology and Biochemistry**. Elmsford, v.31, p. 455-461, 1999

WHITMORE, T. C. **An introduction to tropical raiis forests**. Oxford, Oxford Universitu Press. 1998.

WIECECK, C.S.; MESSINGER, A.S. Calcite contribution by earthworms to forest soils in northern Illinois, 1972. **Soil Sci. Amer. Proc.**, v.36, n. 3, p.478-480, 1972.