

KLAUS DIETER SAUTTER

**EFEITO DA COMPACTAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO,
CAUSADA PELA COLHEITA DE *Eucalyptus grandis*,
SOBRE ALGUNS ORGANISMO DO SOLO**

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

Orientador: Prof. Dr. Jorge Roberto Malinovski

**CURITIBA
2001**



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias – Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico – CAMPUS III
80210-170 - CURITIBA - Paraná
Tel. (41) 360.4212 - Fax. (41) 360.4211 - <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao>
e-mail: pinheiro@floresta.ufpr.br

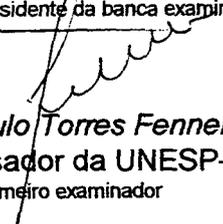
PARECER
Defesa nº 427

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o doutorando **KLAUS DIETER SAUTTER** em relação ao seu trabalho de tese intitulado “EFEITO DA COMPACTAÇÃO DE SOLOS DE USO FLORESTAL, CAUSADA POR SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA, SOBRE ALGUNS ORGANISMOS DO SOLO”, é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do acadêmico, habilitando-o ao título de *Doutor em Ciências Florestais*, na área de concentração em *Silvicultura*.



Dr. Jorge Roberto Malinovski

Professor e pesquisador do Departamento de Ciências Florestais da UFPR
Orientador e presidente da banca examinadora



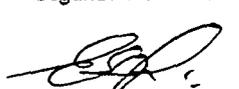
Dr. Paulo Torres Fenner

Professor e pesquisador da UNESP-Botucatu-SP
Primeiro examinador



Dr. Celso Garcia Auer

Pesquisador da EMBRAPA-CNPFloresta
Segundo examinador



Dr. Edilson Batista de Oliveira

Pesquisador da EMBRAPA -CNPFloresta
Terceiro examinador



Dr. Albino Grigoletti Júnior

Pesquisador da EMBRAPA-CNPFloresta
Quarto examinador



Curitiba, 21 de março de 2001.



Nivaldo Eduardo Rizzi

Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

Franklin Galvão

Vice-coordenador

Ofereço
A DEUS,

Dedico
aos meus pais, GERHARD (*In memorium*) e LILIAN,
ao meu irmão, FRANK,
e à minha amada esposa, LILIAN ERBS,
que mais uma vez soube me amar e ter paciência comigo.

AGRADECIMENTOS

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração Silvicultura, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, pelo acolhimento, por possibilitar a realização deste trabalho e pela compreensão dispendida na conclusão deste trabalho.

Ao Professor Doutor Jorge Roberto Malinovski, pelo estímulo, confiança, dedicação, valiosa orientação e pela compreensão na conclusão deste trabalho.

Aos Professores Doutores Eli Nunes Marques, Jair Alves Dionísio e Masato Kobiyama, pela amizade, sugestões e valiosa co-orientação.

Ao Professor João Carlos Possamai e ao Dr. Edilson Batista de Oliveira, pela valiosa ajuda nas análises estatísticas.

À KLABIN Fabricadora de Papel e Celulose S.A., pelo apoio material e financeiro, e pela gentil cessão de uso de suas áreas para a realização deste trabalho.

Às laboratoristas Elda Nazaré Leite Lubansinski e Ana Kudla, do Laboratório de Biologia do Solo, do Departamento de Solos, pelo apoio e colaboração em todas as análises, sem o qual não seria possível a realização deste trabalho.

Às funcionárias da Biblioteca do Setor de Ciências Agrárias e da Biblioteca do Setor de Ciências Biológicas, pela atenção.

À CAPES e ao CNPq, pela concessão da Bolsa de Estudos, que permitiu a realização desta Tese.

Aos meus pais, Gerhard Johannes Sautter (*In memoriam*) e Lilian Sautter, que nunca mediram esforços visando ao aperfeiçoamento de minha formação moral e profissional.

Ao meu irmão, Frank Thomas Sautter, e minha cunhada, Cláudia Kaehler Sautter, pelo apoio e pela confiança em mim depositada.

À minha esposa, Lilian Erbs, que, novamente, suportou as horas por mim gastas neste trabalho, com amor, confiança e compreensão.

Enfim, a todos quantos, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 COMPACTAÇÃO: CONCEITO.....	5
2.2 CAUSAS E EXTENSÃO DA COMPACTAÇÃO DE SOLOS FLORESTAIS.....	6
2.3 EFEITO DA COMPACTAÇÃO SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO.....	9
2.3.1 Influência na aeração e trocas gasosas.....	9
2.3.2 Influência na água do solo.....	10
2.3.3 Influência na temperatura e calor.....	11
2.4 EFEITO DA COMPACTAÇÃO NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO.....	11
2.5 EFEITO DA COMPACTAÇÃO SOBRE AS PROPRIEDADES BIOLÓGICAS DO SOLO.....	14
2.5.1 Influência sobre as propriedades microbiológicas do solo.....	14
2.5.2 Influência sobre a mesofauna edáfica.....	16
2.6 AS CONSEQUÊNCIAS DA COMPACTAÇÃO AO CRESCIMENTO DAS ÁRVORES.....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA.....	23
3.1.1 Histórico da área experimental.....	24
3.2 DETALHES DO EXPERIMENTO E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	24
3.3 AMOSTRAGENS.....	27

3.3.1 Biológicas.....	28
3.3.2 Químicas.....	31
3.3.3 Físicas.....	32
3.3.4 Área utilizada em cada subtratamento.....	34
3.3.5 Rebrotas das cepas.....	34
3.3.6 Dados meteorológicos.....	34
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1 FLUTUAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR E DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL.....	36
4.2 UMIDADE GRAVIMÉTRICA DO SOLO POR OCASIÃO DA INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	37
4.3 ÁREA UTILIZADA EM CADA SUBTRATAMENTO.....	37
4.4 EFEITO DA COMPACTAÇÃO SOBRE DENSIDADE E POROSIDADE TOTAL DO SOLO.....	38
4.5 EFEITO DA COMPACTAÇÃO SOBRE A REBROTA DAS CEPAS.....	40
4.6 EFEITO DA COMPACTAÇÃO SOBRE A POPULAÇÃO MICROBIANA DO SOLO.....	42
4.6.1 Efeito da compactação na população e atividade microbiana.....	42
4.6.2 Flutuação populacional de fungos.....	43
4.6.3 Flutuação populacional de bactérias.....	45
4.6.4 Efeito da compactação sobre a respiração microbiana.....	48
4.7 EFEITO DA COMPACTAÇÃO SOBRE A MESOFAUNA EDÁFICA.....	50
4.7.1 Collembola.....	50
4.7.2 Oribatei.....	56
4.7.3 Acari.....	65
4.7.4 Isopoda.....	68
4.7.5 Formicidae.....	71
4.7.6 Psocoptera.....	74

4.8 DENSIDADES POPULACIONAIS MÉDIAS FINAIS DOS ORGANISMOS DO SOLO, SEGUNDO OS TRATAMENTOS.....	77
5 CONCLUSÕES.....	80
6 RECOMENDAÇÕES.....	83
REFERÊNCIAS.....	84
APÊNDICE.....	101

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE TELÊMACO BORBA, PR.....	23
FIGURA 2 - ESQUEMA DOS SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA ESTUDADOS. TELÊMACO BORBA - PR, 1996/1997.....	26
FIGURA 3 - TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA (°C) E SOMA MENSAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL DIÁRIA ACUMULADA (MM). TELÊMACO BORBA, PR, 1996/1997.....	36
FIGURA 4 - FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE FUNGOS, NA CAMADA DE 0 A 5 CM, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE-ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER+FORWARDER (BL-LEIRA; BE- ENTRE LEIRA E RODADO; BR-RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL-LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DR-RODADO). TELÊMACO BORBA-PR, 1996/1997.....	44
FIGURA 5 - FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE BACTÉRIAS, NA CAMADA DE 0 A 5 CM, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE- ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER+FORWARDER (BL-LEIRA; BE-ENTRE LEIRA E RODADO; BR-RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL-LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DR- RODADO). TELÊMACO BORBA-PR, 1996/1997.....	46
FIGURA 6 - FLUTUAÇÃO DAS RESPIRAÇÕES MICROBIANAS ACUMULADAS, NA CAMADA DE 0 A 5 CM, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE-ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER+FORWARDER (BL-LEIRA; BE-ENTRE LEIRA E RODADO; BR- RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL- LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DR-RODADO). TELÊMACO BORBA-PR, 1996/1997.....	49
FIGURA 7 - FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE COLLEMBOLA (INSECTA), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, MÉDIA DE NOVE REPETIÇÕES, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE-ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER+FORWARDER (BL-LEIRA; BE-ENTRE LEIRA E RODADO; BR- RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL- LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DR-RODADO). TELÊMACO BORBA-PR, 1996/1997.....	51
FIGURA 8 - FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE ORIBATEI (ACARI), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, MÉDIA DE NOVE REPETIÇÕES, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE-ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER +FORWARDER (BL-LEIRA; BE-ENTRE LEIRA E RODADO; BR- RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL- LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DR-RODADO). TELÊMACO BORBA- PR, 1996/1997.....	58

FIGURA 9 - FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE ORIBATEI INFERIOR (ACARI), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, MÉDIA DE NOVE REPETIÇÕES, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE-ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER+FORWARDER (BL-LEIRA; BE-ENTRE LEIRA E RODADO; BR-RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL-LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DR-RODADO). TELÊMAGO BORBA-PR, 1996/1997.....	59
FIGURA 10 - FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE ORIBATEI SUPERIOR (ACARI), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, MÉDIA DE NOVE REPETIÇÕES, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE-ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER+FORWARDER (BL-LEIRA; BE-ENTRE LEIRA E RODADO; BR-RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL-LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DR-RODADO). TELÊMAGO BORBA-PR, 1996/1997.....	60
FIGURA 11 - FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE ACARI (ARACHNIDA), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, MÉDIA DE NOVE REPETIÇÕES, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE-ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER+FORWARDER (BL-LEIRA; BE-ENTRE LEIRA E RODADO; BR-RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL-LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DR-RODADO). TELÊMAGO BORBA-PR, 1996/1997.....	66
FIGURA 12 - FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE ISOPODA (CRUSTACEA), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, MÉDIA DE NOVE REPETIÇÕES, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE-ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER+FORWARDER (BL-LEIRA; BE-ENTRE LEIRA E RODADO; BR-RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL-LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DR-RODADO). TELÊMAGO BORBA-PR, 1996/1997.....	69
FIGURA 13 - FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE FORMICIDAE (INSECTA), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, MÉDIA DE NOVE REPETIÇÕES, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE-ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER+FORWARDER (BL-LEIRA; BE-ENTRE LEIRA E RODADO; BR-RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL-LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DR-RODADO). TELÊMAGO BORBA-PR, 1996/1997.....	72
FIGURA 14 - FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE PSOCOPTERA (INSECTA), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, MÉDIA DE NOVE REPETIÇÕES, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE-ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER+FORWARDER (BL-LEIRA; BE-ENTRE LEIRA E RODADO; BR-RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL-LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DC-RODADO). TELÊMAGO BORBA-PR, 1996/1997.....	75

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS E NÚMERO DE PASSAGENS DESTES SOBRE A ÁREA EXPERIMENTAL EM CADA UM DOS TRATAMENTOS REALIZADOS. TELÊMACO BORBA - PR, 1996.....	25
TABELA 2 - CRONOGRAMA DAS COLETAS REALIZADAS. TELÊMACO BORBA- PR, 1996/1997.....	29
TABELA 3 - VALOR DA PERCENTAGEM DE ÁREA EM CADA UM DOS TRATAMENTOS E SEUS SUBTRATAMENTOS. MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES. A - CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA (AL - LEIRA; AE - ENTRE LEIRAS); B - HARVESTER + FORWARDER (BL - LEIRA; BE - ENTRE LEIRA E RODADO; BR - RODADO); C - SISTEMA CONVENCIONAL (CL - LEIRA; CE - ENTRE LEIRA E RODADO; CR - RODADO); D - STRESS (DL - LEIRA; DE - ENTRE LEIRA E RODADO; DR - RODADO). TELÊMACO BORBA, PR - 1996/1997.....	38
TABELA 4 - DENSIDADE APARENTE (g/cm^3) E POROSIDADE TOTAL DO SOLO (cm^3/cm^3), NA CAMADA DE 0 A 5 CM DE PROFUNDIDADE, EM CADA UM DOS TRATAMENTOS E SEUS SUBTRATAMENTOS. MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES. A - CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA (AL - LEIRA; AE - ENTRE LEIRAS); B - HARVESTER + FORWARDER (BL - LEIRA; BE - ENTRE LEIRA E RODADO; BR - RODADO); C - SISTEMA CONVENCIONAL (CL - LEIRA; CE - ENTRE LEIRA E RODADO; CR - RODADO); D - STRESS (DL - LEIRA; DE - ENTRE LEIRA E RODADO; DR - RODADO). TELÊMACO BORBA, PR - 1996/1997.....	39
TABELA 5 - REBROTA DAS CEPAS EM CADA UM DOS TRATAMENTOS E SEUS SUBTRATAMENTOS. A - CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA (AL - LEIRA; AE - ENTRE LEIRAS); B - HARVESTER + FORWARDER (BL - LEIRA; BE - ENTRE LEIRA E RODADO; BR - RODADO); C - SISTEMA CONVENCIONAL (CL - LEIRA; CE - ENTRE LEIRA E RODADO; CR - RODADO); D - STRESS (DL - LEIRA; DE - ENTRE LEIRA E RODADO; DR - RODADO). TELÊMACO BORBA, PR - 1996/1997.....	41
TABELA 6 - DENSIDADES POPULACIONAIS DOS MICRORGANISMOS E RESPIRAÇÃO MICROBIANA, NA CAMADA DE 0 A 5 CM DE PROFUNDIDADE, EM CADA UM DOS SUBTRATAMENTOS. A - CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA (AL - LEIRA; AE - ENTRE LEIRAS); B - HARVESTER + FORWARDER (BL - LEIRA; BE - ENTRE LEIRA E RODADO; BR - RODADO); C - SISTEMA CONVENCIONAL (CL - LEIRA; CE - ENTRE LEIRA E RODADO; CR - RODADO); D - STRESS (DL - LEIRA; DE - ENTRE LEIRA E RODADO; DR - RODADO). TELÊMACO BORBA, PR - 1996/1997.....	43
TABELA 7 - ALGUNS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO, COLETADOS NA CAMADA DE 0 A 5 CM DE PROFUNDIDADE, PARA ANÁLISE DOS MICRORGANISMOS, EM CADA UM DOS SUBTRATAMENTOS. MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES. A - CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA (AL - LEIRA; AE - ENTRE LEIRAS); B - HARVESTER + FORWARDER (BL - LEIRA; BE - ENTRE LEIRA E RODADO; BR - RODADO); C - SISTEMA CONVENCIONAL (CL - LEIRA; CE - ENTRE LEIRA E RODADO; CR - RODADO); D - STRESS (DL - LEIRA; DE - ENTRE LEIRA E RODADO; DR - RODADO). TELÊMACO BORBA, PR - 1996/1997.....	47

TABELA 8 - TEMPERATURA DO SOLO (°C), A 2,5 CM DE PROFUNDIDADE NAS AMOSTRAS COLETADAS PARA ANÁLISE DA MESOFAUNA EDÁFICA EM CADA UM DOS TRATAMENTOS E SEUS SUBTRATAMENTOS. A - CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA (AL - LEIRA; AE - ENTRE LEIRAS); B - HARVESTER + FORWARDER (BL - LEIRA; BE - ENTRE LEIRA E RODADO; BR - RODADO); C - SISTEMA CONVENCIONAL (CL - LEIRA; CE - ENTRE LEIRA E RODADO; CR - RODADO); D - STRESS (DL - LEIRA; DE - ENTRE LEIRA E RODADO; DR - RODADO). TELÊMACO BORBA, PR - 1996/1997.....	52
TABELA 9 - UMIDADE GRAVIMÉTRICA DO SOLO (g/g), DE 0 A 5 CM DE PROFUNDIDADE, NAS AMOSTRAS COLETADAS PARA ANÁLISE DA MESOFAUNA EDÁFICA EM CADA UM DOS TRATAMENTOS E SEUS SUBTRATAMENTOS. MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES. A - CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA (AL - LEIRA; AE - ENTRE LEIRAS); B - HARVESTER + FORWARDER (BL - LEIRA; BE - ENTRE LEIRA E RODADO; BR - RODADO); C - SISTEMA CONVENCIONAL (CL - LEIRA; CE - ENTRE LEIRA E RODADO; CR - RODADO); D - STRESS (DL - LEIRA; DE - ENTRE LEIRA E RODADO; DR - RODADO). TELÊMACO BORBA, PR - 1996/1997.....	53
TABELA 10 - ALGUMAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO NAS AMOSTRAS COLETADAS PARA ANÁLISE DA MESOFAUNA EDÁFICA, ENTRE 0 E 5 CM DE PROFUNDIDADE EM CADA UM DOS TRATAMENTOS E SEUS SUBTRATAMENTOS. MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES. A - CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA (AL - LEIRA; AE - ENTRE LEIRAS); B - HARVESTER + FORWARDER (BL - LEIRA; BE - ENTRE LEIRA E RODADO; BR - RODADO); C - SISTEMA CONVENCIONAL (CL - LEIRA; CE - ENTRE LEIRA E RODADO; CR - RODADO); C - STRESS (DL - LEIRA; DE - ENTRE LEIRA E RODADO; DR - RODADO). TELÊMACO BORBA, PR - 1996/1997.....	54
TABELA 11 - TOTAL DE COLLEMBOLA (INSECTA) COLETADOS NOS 11 SUBTRATAMENTOS, NA CAMADA DE 0 A 5 CM. MÉDIA 9 REPETIÇÕES, EXPRESSA EM NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR M ² . CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA: LEIRA (AL) E ENTRE LEIRAS (AE); HARVESTER E FORWARDER: LEIRA (BL), LOCAL DE DEPOSIÇÃO DE TRONCOS (BE) E RODADO (BR); SISTEMA CONVENCIONAL: LEIRA (CL), ENTRE LEIRA E RODADO (CE) E RODADO (CR); STRESS: LEIRA (DL), ENTRE LEIRA E RODADO (DE) E RODADO (DR).....	55
TABELA 12 - TOTAL DE ORIBATEI (ACARI) COLETADOS NOS 11 SUBTRATAMENTOS, NA CAMADA DE 0 A 5 CM. MÉDIA 9 REPETIÇÕES, EXPRESSA EM NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR M ² . CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA: LEIRA (AL) E ENTRE LEIRAS (AE); HARVESTER E FORWARDER: LEIRA (BL), LOCAL DE DEPOSIÇÃO DE TRONCOS (BE) E RODADO (BR); SISTEMA CONVENCIONAL: LEIRA (CL), ENTRE LEIRA E RODADO (CE) E RODADO (CR); STRESS: LEIRA (DL), ENTRE LEIRA E RODADO (DE) E RODADO (DR).....	62
TABELA 13 - TOTAL DE ORIBATEI INFERIOR (ACARI) COLETADOS NOS 11 SUBTRATAMENTOS, NA CAMADA DE 0 A 5 CM. MÉDIA 9 REPETIÇÕES, EXPRESSA EM NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR M ² . CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA: LEIRA (AL) E ENTRE LEIRAS (AE); HARVESTER E FORWARDER: LEIRA (BL), LOCAL DE DEPOSIÇÃO DE TRONCOS (BE) E RODADO (BR); SISTEMA CONVENCIONAL: LEIRA (CL), ENTRE LEIRA E RODADO (CE) E RODADO (CR); STRESS: LEIRA (DL), ENTRE LEIRA E RODADO (DE) E RODADO (DR).....	63

TABELA 14	- TOTAL DE ORIBATEI SUPERIOR (ACARI) COLETADOS NOS 11 SUBTRATAMENTOS, NA CAMADA DE 0 A 5 CM. MÉDIA 9 REPETIÇÕES, EXPRESSA EM NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR M ² . CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA: LEIRA (AL) E ENTRE LEIRAS (AE); HARVESTER E FORWARDER: LEIRA (BL), LOCAL DE DEPOSIÇÃO DE TRONCOS (BE) E RODADO (BR); SISTEMA CONVENCIONAL: LEIRA (CL), ENTRE LEIRA E RODADO (CE) E RODADO (CR); STRESS: LEIRA (DL), ENTRE LEIRA E RODADO (DE) E RODADO (DR).....	64
TABELA 15	- TOTAL DE ACARI (ARACHNIDA) COLETADOS NOS 11 SUBTRATAMENTOS, NA CAMADA DE 0 A 5 CM. MÉDIA 9 REPETIÇÕES, EXPRESSA EM NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR M ² . CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA: LEIRA (AL) E ENTRE LEIRAS (AE); HARVESTER E FORWARDER: LEIRA (BL), LOCAL DE DEPOSIÇÃO DE TRONCOS (BE) E RODADO (BR); SISTEMA CONVENCIONAL: LEIRA (CL), ENTRE LEIRA E RODADO (CE) E RODADO (CR); STRESS: LEIRA (DL), ENTRE LEIRA E RODADO (DE) E RODADO (DR).....	67
TABELA 16	- TOTAL DE ISOPODA (CRUSTACEA) COLETADOS NOS 11 SUBTRATAMENTOS, NA CAMADA DE 0 A 5 CM. MÉDIA 9 REPETIÇÕES, EXPRESSA EM NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR M ² . CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA: LEIRA (AL) E ENTRE LEIRAS (AE); HARVESTER E FORWARDER: LEIRA (BL), LOCAL DE DEPOSIÇÃO DE TRONCOS (BE) E RODADO (BR); SISTEMA CONVENCIONAL: LEIRA (CL), ENTRE LEIRA E RODADO (CE) E RODADO (CR); STRESS: LEIRA (DL), ENTRE LEIRA E RODADO (DE) E RODADO (DR).....	70
TABELA 17	- TOTAL DE FORMICIDAE (INSECTA) COLETADOS NOS 11 SUBTRATAMENTOS, NA CAMADA DE 0 A 5 CM. MÉDIA 9 REPETIÇÕES, EXPRESSA EM NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR M ² . CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA: LEIRA (AL) E ENTRE LEIRAS (AE); HARVESTER E FORWARDER: LEIRA (BL), LOCAL DE DEPOSIÇÃO DE TRONCOS (BE) E RODADO (BR); SISTEMA CONVENCIONAL: LEIRA (CL), ENTRE LEIRA E RODADO (CE) E RODADO (CR); STRESS: LEIRA (DL), ENTRE LEIRA E RODADO (DE) E RODADO (DR).....	73
TABELA 18	- TOTAL DE PSOCOPTERA (INSECTA) COLETADOS NOS 11 SUBTRATAMENTOS, NA CAMADA DE 0 A 5 CM. MÉDIA 9 REPETIÇÕES, EXPRESSA EM NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR M ² . CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA: LEIRA (AL) E ENTRE LEIRAS (AE); HARVESTER E FORWARDER: LEIRA (BL), LOCAL DE DEPOSIÇÃO DE TRONCOS (BE) E RODADO (BR); SISTEMA CONVENCIONAL: LEIRA (CL), ENTRE LEIRA E RODADO (CE) E RODADO (CR); STRESS: LEIRA (DL), ENTRE LEIRA E RODADO (DE) E RODADO (DR).....	76
TABELA 19	- DENSIDADES POPULACIONAIS MÉDIAS FINAIS DOS ORGANISMOS DO SOLO, NA CAMADA DE 0 A 5 CM DE PROFUNDIDADE. TELÊMAGO BORBA, PR, 1996/1997.....	77

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo estudar o efeito da compactação do solo em alguns organismos do solo, parâmetros físicos do solo e crescimento, em altura e diâmetro, da rebrota, causada pelos métodos de colheita e extração de madeira, em um reflorestamento de *Eucalyptus grandis*. Foram utilizados quatro tratamentos: (a) colheita e extração de madeira feita manualmente, sem utilização de máquinas; (b) uso de harvester e forwarder; (c) método convencional, utilizado pela empresa - corte com motosserra e extração com trator; e (d) mesmo tratamento anterior, porém com maior compactação do solo. Em cada um dos tratamentos foram coletadas amostras na área diretamente atingida pela compactação (rodado), na área de acúmulo de galhos e folhas e na área subjacente à área compactada. Durante um ano foram coletadas amostras de solo, para análise dos microrganismos do solo (fungos, bactérias e respiração do solo) e os artrópodos edáficos (Collembola, Oribatei, Acari, Isopoda, Formicidae e Psocoptera). Entre os microrganismos estudados, as populações foram afetadas pela colheita e extração de madeira. As populações dos fungos e bactérias e a respiração microbiana foram extremamente dependentes das condições climáticas, principalmente naqueles tratamentos onde houve o trânsito de máquinas. As populações de todos os grupos de artrópodos estudados foram reduzidas pelos métodos de colheita e extração de madeira estudados, em relação às leiras. A maior redução foi observada no tratamento (d). Na maioria dos grupos de artrópodos não foram constatadas diferenças estatísticas, entre todos os tratamentos, na primeira data de coleta (dois dias após a compactação da área); e com populações muito baixas, o que demonstra a sua sensibilidade à ação antropogênica sobre seu *habitat*, não importando o grau de impacto. Durante o período de monitoramento, a recuperação das populações foi acompanhada pela recuperação das características físicas do solo, todavia ainda muito dependente das condições climáticas. Quando houve pouca chuva, a população diminuía. As maiores comunidades de artrópodos foram encontradas nos subtratamentos de leiras, onde havia umidade e temperatura mais favoráveis à estas comunidades, bem como maior fonte alimentar.

ABSTRACT

The objective of the present work was to study the effect of the soil compaction on some soil-organisms, soil physical properties and tree height and diameter, caused by harvesting and wood transportation ways, in a reforestation area of *Eucalyptus grandis*. Four treatments were used: (a) harvesting and wood transportation done manually, without use of machines; (b) use of harvester and forwarder; (c) chainsaw and extraction with tractor, which is usually performed in this region; and (d) the same treatment of (c) but with more intensive compaction degree. In each treatment, soil samples were collected in the area that directly suffered from the compaction, in an area of accumulation of branches and leaves and in the area beside the compacted area. Sampling was carried bimonthly out during one year, to analyze the soil microorganisms (Fungi, Bacteria and soil respiration) and the soil arthropods (Collembola, Oribatei, Acari, Isopoda, Formicidae and Psocoptera). Among the studied microorganisms, the populations were affected by the harvesting and wood transportation ways. The population of Fungi and Bacteria and the microbial respiration were extremely dependent on the climatic conditions, mainly in those treatments where there were machines traffic. The populations of all the groups of the studied arthropods were reduced by the harvesting and wood transportation ways, in relation to the area of accumulation of branches and leaves. The largest reduction was observed in the (d) treatment. In most of the arthropods groups no statistical differences were verified, among all the treatments, on the first collection date (two days after the compaction of the area); and with very low populations, what implies its sensibility to the antropogenic action on its habitat, with no importance on the compaction degree. During the monitoring period, the recovery of the populations was companied with that of soil physical condition, but the population recovery was still dependent on the climatic condition. When there was little rain, the population decreased. The largest communities of arthropods were found in the area of accumulation of branches and leaves, where the soil moisture and soil temperature were more favorable to these communities, as well as larger food source.

1 INTRODUÇÃO

A exploração florestal no Brasil iniciou-se logo após a descoberta do país, em 1500. O extrativismo do pau-brasil, essência usada na indústria de tinturaria, tornou-se a primeira atividade comercial da colônia. Ao longo do tempo, a descoberta de outras espécies de valor comercial e também a necessidade de novas fronteiras para a agricultura e a pecuária fizeram com que a redução da área das florestas brasileiras aumentasse em larga escala (OLIVEIRA *et al.*, 1998).

Em 1965 foi promulgada a Lei 5.106 (Lei dos Incentivos Fiscais) para plantios florestais, onde indústrias e grupos empresariais decidiram aplicar parte de seus impostos. Posteriormente, o Decreto Lei 1134 (Obrigatoriedade de reposição florestal) e o PIFE (Plano Integrado Floresta – Empresa) também foram os responsáveis pela maioria da nossa base florestal destinada à indústria, estimada em 6,7 milhões de hectares plantados entre *Pinus*, *Eucalyptus* e outras espécies nas décadas de 70 e 80 (MALINOVSKI e MALINOVSKI, 1998).

Segundo MALINOVSKI e MALINOVSKI (1998) com a época de maturação econômica destas florestas, passou-se a utilizar sistemas para extração de madeira adaptados de florestas nativas, que consistia na utilização de traçadeiras e machados para cortar, desgalhar e traçar as árvores e tração animal para arrastá-las até a beira de estradas ou ferrovias. Na década de 60 começaram a surgir, no Brasil as primeiras motosserras (WALDRIGUES, 1983). Iniciou-se também a utilização de pequenos tratores agrícolas para o arraste de toras, e rudimentares carregadores florestais. No período de 1970 houve um início no processo de melhorias dos equipamentos existentes, como o aumento da potência e a diminuição do peso das motosserras, tratores agrícolas equipados com guinchos e garras (*miniskidders*), tratores desenvolvidos especificamente para o arraste de madeira (*skidders*) e equipamentos hidráulicos para o carregamento de toras e de toretes em caminhões. A década de 80 ficou marcada com o início da utilização de tratores derrubadores (*feller bunchers*). Este período pode ser caracterizado como uma grande fase de racionalização de mão de obra florestal, devido à sua escassez causada pela migração de parte da mão de obra

rural para as grandes cidades. Porém a década de 90 foi marcada pelos maiores avanços tecnológicos da área, com o surgimento e aperfeiçoamento de vários equipamentos como: *harvesters* (efetua o corte, desgalhamento e traçamento no próprio local onde a máquina se encontra), *forwarders* (tratores autocarregáveis), *feller bunchers*, *skidders* e equipamentos desgalhadores e traçadores (*loaders*, *slashers*, *delimbers*) (MALINOVSKI e MALINOVSKI, 1998).

O uso de máquinas pesadas durante a colheita de madeira tornou-se comum, conduzindo o solo à compactação e causando, a longo prazo, decréscimo na produtividade de sítio e agredindo o meio ambiente. Para HERBAUTS *et al.* (1996) o aumento do tamanho, da potência e o tráfego de máquinas é a principal causa para degradação física do solo e ecossistemas florestais. Sob influência de repetidas passadas durante a operação de extração, os solos florestais estão submetidos a *stress* severo, devido à forças mecânicas exercidas pelos pneus dos tratores e derrapagens na superfície do solo.

Segundo NIMME e AKSTIN (1988) a compactação é definida como sendo uma mudança no arranjo de partículas que reduzem o volume total do meio, associados aos impactos causadores. O conhecimento da compactação do solo e de sua relação com o sistema de exploração florestal são fontes importantes para o manejo adequado das condições físicas do solo, e assim melhorar a produção de madeira. O nível desejado de compactação depende do propósito pretendido; por exemplo, os requerimentos para tração e mobilidade são bem diferentes daqueles para infiltração e desenvolvimento das raízes (SCHAFER *et al.*, 1989; CINTRA *et al.*, 1983).

O solo é uma massa amorfa, porém estruturado e organizado em horizontes. A formação do solo é um processo longo, na qual processos físicos, químicos e biológicos tomam parte, cada um sendo influenciado por outros fatores, como exposição, água e material de origem. A duração da decomposição e a ação do homem também influenciam estes processos. Num solo de floresta temperada mista, cerca de 6% do solo é composto de substâncias orgânicas, sendo destes, 85% de material morto (serrapilheira e produtos da decomposição); o restante é formado metade por raízes vivas e metade por organismos do solo, o que resulta em aproximadamente 1% do

peso do solo. Metade dos organismos edáficos são compostos por bactérias, um quarto por fungos, e um quarto por animais do solo (EHRNSBERGER, 1993). O solo depende, em sua formação, desenvolvimento e manutenção, inteiramente da ação de formas de vida (ANÔNIMO, 1985).

O papel incalculável feito por microrganismos do solo - bactérias, actinomicetos, fungos e protozoários - incluem a decomposição dinâmica da matéria orgânica e produção de húmus, ciclagem de nutrientes e energia, fixação de elementos, metabolismo do solo e produção de compostos complexos que causam a agregação do solo. Estes organismos ativos, com sua alta relação área-volume, são fontes vivas de elementos químicos, compostos e energia (DINDAL, 1990).

Os invertebrados do solo também são agentes extremamente importantes na geração e manutenção do caráter biológico, químico e físico do ecossistema edáfico. Estes invertebrados funcionam como reguladores dos processos microbianos através da translocação, defecação e inoculação de propágulos microbianos. Também são fontes vivas significativas de energia, nitrogênio e outros nutrientes. Por meio da escavação, eles constroem canais, através dos quais água e ar passam dentro do perfil do solo (DINDAL, 1990). Os invertebrados edáficos também atuam na modificação das razões de humificação e na distribuição de materiais orgânicos dentro da matriz mineral do solo, via deposição de *pellets* fecais, afetando tamanho e frequência dos agregados do solo. Como consequência, o aumento na presença e diversidade dos agregados hidro-solúveis no solo pode causar o aumento na capacidade de aeração, no armazenamento de nutrientes e de água no solo, e na redução da densidade e da susceptibilidade do solo a forças erosivas de água e vento (DINDAL, 1985).

A compactação do solo significa não só diminuição temporária do volume de poros, mas também alteração na atividade biológica, a qual mantém o equilíbrio do estado poroso natural (HILDEBRAND, 1983).

Este estudo teve como objetivo geral avaliar o impacto da compactação do solo, sobre algumas propriedades biológicas de um latossolo Vermelho-Escuro, causado pelo trânsito de máquinas em sistemas de colheita de *Eucalyptus grandis*, na camada de 0 a 5 cm de profundidade.

Como objetivos específicos, tem:

- (a) Avaliar a área utilizada em cada subtratamento dos sistemas de colheita estudados;
- (b) Avaliar a densidade aparente e porosidade total do solo, na camada de 0 a 5 cm de profundidade, nos diferentes subtratamentos e ao longo do período do experimento;
- (c) Realizar uma avaliação preliminar do crescimento de *Eucalyptus grandis* sob diferentes sistemas de colheita;
- (d) Verificar o impacto da compactação, ao longo de um ano, na população da fauna e microrganismos do solo, na camada de 0 a 5 cm de profundidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 COMPACTAÇÃO: CONCEITO

A compactação é uma propriedade complexa do solo que compreende interações de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, assim como o clima, das práticas culturais e do tipo de cultivo. Além do termo **compactação**, vários autores citam ainda **adensamento** e **compressão** para definirem um estado de compactação do solo (ADUR, 1990).

BAVER e GARDNER (1973) definem **compactação** como sendo o aumento da densidade de um solo como resultado de cargas ou pressões aplicadas. Em outras palavras, a compactação é definida por eles como um comportamento dinâmico do solo pelo qual o estado de compactação aumenta. Já BRADFORD e GUPTA (1976) definem compactação como sendo o processo que causa alteração do volume do solo pela aplicação momentânea de carga sobre ele.

O **adensamento** do solo é definido por BAVER e GARDNER (1973) como sendo a redução de volume específico aparente (razão de vazios) em um solo, causado por trabalho mecânico. A razão de vazios diminui quando a umidade aumenta para uma mesma carga aplicada. O **adensamento**, portanto, é uma mudança estrutural associada à consistência do solo.

O termo **compressão** é definido por ROLOFF (1986) como sendo a redução do volume do solo causada por uma carga externa, ocorrendo primariamente devido à exclusão do ar e da água dos espaços porosos e ao arranjo das partículas do solo e secundariamente devido à compressão e deformação do ar e da água nos poros. BAVER e GARDNER (1973) citam **compressão** como sendo a variação do volume de um solo sob esforço aplicado. Como o volume do solo consta de uma fase sólida e dos vazios que o compõem, a **compressão** apresenta decréscimo na razão dos vazios do solo pelo incremento de cargas ou de pressões aplicadas. A **compressão** aumenta com a umidade alcançando um valor máximo para, logo em seguida, começar a diminuir à medida que aumenta a umidade. Este máximo ocorre dentro da zona plástica,

indubitavelmente como resultado da crescente facilidade com que as partículas se orientam acima do limite plástico.

O presente trabalho adota a definição de BAVER e GARDNER (1973), onde **compactação** é o aumento da densidade de um solo como resultado de cargas ou pressões aplicadas.

2.2 CAUSAS E EXTENSÃO DA COMPACTAÇÃO DE SOLOS FLORESTAIS

CAMARGO e ALLEONI (1997) citam que as forças que atuam no solo podem ser classificadas em duas grandes categorias: as internas e as externas. As forças internas resultam de ciclos como congelamento e degelo, umedecimento e secamento e expansão e contração. Já as forças externas resultam da construção de edifícios e tráfego de veículos, animais ou pessoas, assim como do crescimento de raízes grandes que empurram um pouco as partículas do solo para forçar sua passagem causando compactação.

Cabe ainda ressaltar a ação de fatores derivados da evolução do solo que podem causar a compactação (MONIZ, 1981). Materiais muito finos são arrastados da superfície do solo e preenchem parte dos poros das camadas inferiores. O processo de secagem e umedecimento do subsolo em certas posições topográficas e o peso do gelo em períodos de glaciação pode causar compactação no subsolo.

Entre as chamadas forças externas, a energia requerida para compactar o solo pode vir da gota da chuva, do crescimento das raízes das plantas, do tráfego tanto de homens quanto de animais, do peso da vegetação e do peso do próprio solo. Porém, as principais forças causadoras da compactação de solos florestais e agrícolas vem das máquinas usadas para manejar e colher a cultura. A mecanização de algumas operações florestais vem se intensificando através das últimas décadas, e o resultado disto é um potencial problema sério para o solo. Quanto mais intensivo o uso de máquinas, maior é o impacto destes equipamentos sobre o sítio florestal (GREACEN e SANDS, 1980).

Alguns fatores que afetam a severidade da compactação são: tipo de solo, teor de umidade do solo, cobertura vegetal (MILES, 1978), parâmetros do veículo, como tipo de pneu, tamanho, forma e pressão de ar do pneu (PORTERFIELD e CARPENTER, 1986), e o número de passadas do veículo sobre o solo (MATTHIES *et al.*, 1995). Devido à infinita variabilidade de fatores afetando a compactação do solo, entender o processo de compactação é dificultado ao máximo (MATTHIES *et al.*, 1989).

A pressão de contato das máquinas com o solo é dada dividindo-se o peso da máquina pela área total de contato com o solo. Frequentemente em operações de extração da madeira, um eixo (usualmente o traseiro), suporta consideravelmente mais carga que o outro. Num *forwarder* a maior parte do peso dos troncos é suportado pelo eixo traseiro, e pressões de contato podem ser reduzidas usando-se uma prancha. Pressões geradas no solo podem ser consideravelmente maiores que pressões nominais de contato (GREACEN e SANDS, 1980). Pressões no solo de até cinco vezes maior que as pressões nominais de contato são frequentemente registradas sob as rodas traseiras de tratores agrícolas (COHRON, 1971).

GREACEN e SANDS (1980) citam que como as pressões das rodas são concentradas no solo imediatamente abaixo, elas podem ser detectadas em profundidades consideráveis no perfil. DANFORS (1974) mediu a compactação do solo sob carga de 16 toneladas a 50-60 cm de profundidade, a qual permaneceu três anos; movimento de solo foi detectado a 120 cm de profundidade. Ele concluiu que, com grandes pesos, é amplamente o peso, e não a pressão de contato, decisivo para a magnitude de *stress* à profundidades maiores que 40 cm.

KOBIYAMA e USHIWATA (1993) avaliaram a influência da compactação de um solo de uso florestal nas propriedades físicas do solo e concluíram que a influência da compactação foi significativa até a profundidade de 20 a 30 cm, e a intensidade da influência diminui com o aumento da profundidade. Os resultados mostraram claramente que o solo superficial (0 a 5 cm) sofreu maior nível de compactação.

Outro aspecto de dano do solo pelo tráfego é o afundamento da roda. Em geral, o afundamento é acompanhado pela compactação, mas, em solos muito úmidos a

saturados, um afundamento drástico pode ocorrer, causando falhas sem compactação, devido à pouca drenagem no solo sob a carga. Nestes casos a estrutura do solo é destruída com acompanhamento de efeitos desastrosos na infiltração e aumento do escoamento superficial (GREACEN e SANDS, 1980). Estas alterações tornam o solo susceptível ao aparecimento de erosão (CONSTANTINI *et al.*, 1997).

Outra fonte potencial de *stress* em solos florestais é o movimento de árvores altas pelo vento. A extensão e o significado de tais forças, causando compactação do solo, ainda não foi avaliada. Os pesos normais aplicados ao solo pela floresta não causam compactação significativa (GREACEN e SANDS, 1980).

A pressão exercida pelo crescimento da árvore também pode ser um fator importante na compactação. A penetração no solo pela raiz e seu alargamento subsequente pode compactar o solo na vizinhança imediata da raiz (GREACEN e SANDS, 1980).

A susceptibilidade do solo à compactação depende fortemente da quantidade de matéria orgânica neste solo. São freqüentes os exemplos onde a adição de matéria orgânica melhorou a estrutura e reduziu a compactação (LARSON e ALLMARAS, 1971; SMITH, 1995).

Segundo GREACEN e SANDS (1980), o estado de compactação de um solo florestal também depende da presença e atividade da fauna do solo. Ela tem um importante papel na desagregação primária da liteira na superfície florestal, incorporando esta à massa do solo, e assim aumentando o teor de matéria orgânica. Os túneis construídos por minhocas podem reduzir a compactação e aumentar a porosidade (BARLEY, 1961). DEXTER (1978) demonstrou que as minhocas podem penetrar num solo com resistência à penetração de até 3.000 kPa; elas o fazem ingerindo partículas de solo e jogando-as para trás.

ROBERTSON e ERICKSON (1978) enumeram sete sintomas facilmente observáveis que auxiliam na identificação de solos compactados: (a) crostas sobre o solo; (b) fendas nas marcas dos pneus dos tratores; (c) zonas compactadas na subsuperfície; (d) água estagnada; (e) erosão excessiva pela água; (f) maior

necessidade de força para a colheita; (g) a presença de resíduos de cultura parcialmente decompostos meses após serem incorporados no solo.

2.3 EFEITO DA COMPACTAÇÃO SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

2.3.1 Influência na aeração e trocas gasosas

É bem conhecido que as operações de colheita e extração de madeira alteram a estrutura do solo, aumentando a sua densidade e diminuindo o volume de macroporos, a continuidade destes macroporos e os parâmetros de transferência de água e ar (SHEPTUKHOV *et al.*, 1982; KEILEN, 1992; MATTHIES *et al.*, 1995). Esta redução da macroporosidade foi demonstrada por SANDS *et al.* (1979), GAYOSO e IROUMÉ (1991) e RAB (1994).

Problemas de aeração resultantes de mudanças na estrutura do solo são relatados tendo como causa o realinhamento e a destruição de macroporos (RUARK *et al.*, 1982). Em um solo adequadamente aerado, os gases se movem através de difusão ou fluxo de massa causados por flutuações diurnas da temperatura, mudanças na pressão barométrica ou movimento horizontal da água. Difusão ou movimento de gases na atmosfera do solo podem ser facilmente interrompidos pela alteração da estrutura do solo nos horizontes superficiais. Diminuição no espaço macroporoso através da compactação pode restringir a difusão de CO₂ para fora do solo e a entrada de O₂ no solo (CANNEL, 1977; RUARK *et al.*, 1982).

GRABLE (1971) cita que os valores de porosidade de aeração abaixo de 10% são, geralmente, considerados restritivos à proliferação de raízes. GENT *et al.* (1984) estudando o efeito da compactação sobre *Pinus taeda*, constataram que nas áreas compactadas houve uma redução significativa na porosidade de aeração, mas que provavelmente não resultou em redução do crescimento das raízes, porque esta porosidade de aeração permaneceu acima do valor crítico de 10%. Já em uma cultura agrícola, a beterraba açucareira, FARNSWORTH (1941) encontrou que esta não germinou em solos com uma capacidade de aeração menor do que 10%.

2.3.2 Influência na água do solo

Sendo os microporos relativamente menos afetados pela compactação, a proporção destes aumenta (DICKERSON, 1976). Um aumento na proporção de microporos faz com que o solo agisse como se fosse de textura fina. O teor de água volumétrica à capacidade de campo é aumentado, crescendo assim o volume de água por unidade de volume de solo que está disponível às raízes das árvores (SANDS *et al.*, 1979). Ao que OHU *et al.* (1985) acrescentam que apesar do aumento do volume de água à capacidade de campo, geralmente não há aumento do crescimento das plantas devido aos efeitos adversos na estrutura e aeração do solo, causados pela compactação. HILL e SUMMER (1967) demonstraram que a compactação contínua chega a um ponto onde a redução da porosidade total domina o crescimento relativo na proporção de microporos, sendo que após isto o teor de água volumétrica à capacidade de campo se torna menor.

O efeito da compactação na condutividade hidráulica e na infiltração pode ser predito pela mudança no tamanho e geometria dos espaços entre as partículas do solo. A compactação geralmente reduz a infiltração (GAHEEN e NJOES, 1977; MALMER e GRIP, 1990) e a condutividade hidráulica saturada (HARROD, 1975; INCERTI *et al.*, 1987; GAYOSO e IROUMÉ, 1991). Porém, devido ao fato que a compactação aumenta a proporção de microporos, a redução na condutividade hidráulica não-saturada é menos evidente que a da saturada, e pode até ocorrer um aumento na condutividade hidráulica não-saturada (SANDS *et al.*, 1979). STEINBRENNER (1955) encontrou sucessivas quedas na infiltração com cada passagem de trator sobre um solo de uso florestal. Solos compactados são, geralmente, divididos em camadas, onde uma camada é mais compactada e menos permeável do que a outra. WARKENTIN (1971) discutiu o movimento da água através destes solos. Ele concluiu que a capacidade de campo é determinada pela distribuição da microporosidade e pela condutividade hidráulica não-saturada e é arranjada entre as camadas.

A compactação do solo pode aumentar grandemente o escoamento superficial (KEILEN, 1992; RAB, 1992), devido à redução na taxa de infiltração, e aumentar,

como consequência, a erosão do solo (LAL, 1986). Contudo, por causa da maior coesão, os solos compactados têm menor erodibilidade e, conseqüentemente, podem sofrer menos erosão para a mesma quantidade de escoamento. Logo, a compactação pode aumentar ou diminuir a erosão do solo, dependendo das circunstâncias (GREACEN e SANDS, 1980). LIEW (1974), por exemplo, demonstrou haver menos erosão sobre o rodado do trator depois da exploração de encostas florestadas, e atribuiu isto à maior compactação do solo sob o rodado.

2.3.3 Influência na temperatura e calor

Segundo CAMARGO e ALLEONI (1997), o fluxo de calor é muito bem relacionado com a compactação do solo, uma vez que a condutividade térmica de um meio poroso depende da distribuição e da condutividade das fases sólida, líquida e gasosa. A umidade do solo influi mais na condutividade térmica do que a densidade global. Entretanto, para um mesmo teor de água, a condutividade térmica do solo com a densidade global alta é maior que a com densidade global baixa. A difusividade térmica obedece mais ou menos a mesma evolução. A variação da temperatura com a profundidade será tanto maior quanto maior for a difusividade térmica e, assim, em solos compactados esta variação é maior.

2.4 EFEITO DA COMPACTAÇÃO NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

Segundo CAMARGO e ALLEONI (1997) o papel da solução do solo como fonte de nutriente e a maneira com que sua concentração é mantida nas vizinhanças da raiz, é assunto de muita relevância na nutrição de plantas. As raízes ocupam apenas uma fração no volume total do solo. Então, a velocidade com que os nutrientes levam para alcançar a superfície radicular é tremendamente importante para sua absorção. Os nutrientes atingem os lugares de absorção na raiz ou movimentando-se junto com a água que caminha para satisfazer as exigências transpiratórias das plantas (fluxo de massa), ou, como são absorvidas na superfície radicular, há uma exaustão nesta região criando um gradiente de concentração com a solução do solo longe da raiz, então o

nutriente se move independentemente do movimento da solução (difusão) para a superfície de absorção.

LIPIEC e STEPNIIEWSKI (1995) explicam que o efeito da compactação do solo no transporte de nutrientes às raízes depende da amplitude da compactação e do suprimento de água e de nutrientes. Em solos bem drenados e condições de alta fertilidade, uma compactação moderada do solo pode ter efeito benéfico. Isto se pode dar pelo aumento na retenção de água e na condutividade hidráulica no caso de transporte por fluxo de massa (KEMPER *et al.*, 1971), aumento no coeficiente de difusão de íons (BHADORIA *et al.*, 1991) ou devido ao aumento da concentração de íons no solo. O aumento da densidade do solo acima de certo volume, por outro lado, pode levar à diminuição do coeficiente de difusão, como resultado do aumento da tortuosidade dos poros e restrição à penetração das raízes.

O fluxo de massa é um importante mecanismo no transporte de N, Ca, Mg, S, B, Cu, Zn, Fe e Cl, como a difusão o é no transporte de P e K (LIPIEC e STEPNIIEWSKI, 1995). A aeração do solo, sendo dependente do status da água e do grau de compactação do solo (STEPNIIEWSKI *et al.*, 1994), é um outro importante fator influenciando a transformação de nutrientes e a ciclagem. O status da aeração do solo afeta diretamente as transformações redox do N, Mn e Fe. O enxofre sofre reduções sob condições mais severas de anoxia. A química de alguns outros elementos pode ser afetada por trocas no equilíbrio químico do solo devido à alteração do pH, assim como pela sua inter-relação com os elementos sofrendo alterações redox. O último é válido para o P, disponibilidade a qual pode aumentar como resultado da redução do Fe⁺³, e para alguns metais pesados, sofrendo precipitação na forma de sulfatos, se há redução do sulfato (GLINSKI e STEPNIIEWSKI, 1985).

- Nitrogênio:

A modificação no balanço do nitrogênio do solo devido à compactação pode ser resultante de: (1) alteração do status da aeração do solo, que contribui diretamente para a desnitrificação e perda de nitrogênio gasoso, diminuição da razão de mineralização do nitrogênio, e redução na nodulação e fixação simbiótica de nitrogênio em leguminosas; (2) alteração nas propriedades da água do solo, que induzem à mudanças

no transporte e lixiviação do N; (3) alteração na disposição das partículas do solo, resultante das mudanças na configuração das raízes, contato raiz-solo e difusividade iônica (LIPIEC e STEPNIEWSKI, 1995).

- Fósforo:

Como o fósforo é relativamente imóvel, o efeito da compactação na ciclagem do fósforo é, na maioria dos casos, relacionado com a configuração do sistema radicular. Geralmente um sistema radicular restrito e pouco acesso ao fósforo do solo em solos compactados, resulta em baixas quantidades de fósforo total absorvido (LIPIEC *et al.*, 1994).

- Potássio:

WOLKOWSKI (1991) reportou que um aumento na compactidade do solo resulta numa redução de 4-11% na concentração de K. Uma reduzida ciclagem de K em solos compactados foi, na maioria dos casos, atribuída a um decréscimo na área da superfície radicular. Uma maior afluência de K por unidade de superfície radicular em solos compactados sem aplicação de K, não foi suficiente para compensar a reduzida concentração de K devido ao crescimento radicular restrito em plântulas de soja (HALLMARK e BARBER, 1981). WOLKOWSKI (1990) indica que onde a aeração do solo é significativamente reduzida, a ciclagem de K pode ser reduzida se a respiração das raízes for reduzida.

- Outros elementos:

Um aumento na densidade do solo reduz a concentração de Mg e Ca no trigo e na aveia (BARRACLOUGH e WEIR, 1988; PETELKAU e DANNOWSKI, 1990). A compactação do subsolo aumenta a concentração de ^{45}Ca em milho e causa uma leve diferenciação na ciclagem total (GEDIGA, 1991). A concentração de Mn e Fe em ervilha foi maior em solos mais compactados e secos (GRATH e HAKANSSON, 1992). Este resultado foi atribuído ao efeito positivo da aeração pobre do solo na disponibilidade destes elementos.

2.5 EFEITO DA COMPACTAÇÃO SOBRE AS PROPRIEDADES BIOLÓGICAS DO SOLO

A rizosfera é o local físico no solo, onde as plantas e os organismos do solo interagem (BOLTON *et al.*, 1992). Grande parte da absorção de nutrientes pelas plantas se processa através dos pêlos absorventes, que se localizam próximos à superfície do solo e na camada orgânica (GISI, 1997).

Segundo GISI (1997) a maior parte dos organismos do solo são, tipicamente, habitantes das camadas superiores do solo. DUNGER (1983), BERG e PAWLUK (1984), FILSER (1992) e CARVALHO (1997) afirmam que as maiores densidades populacionais da fauna e dos microrganismos edáficos encontram-se nos primeiros cinco centímetros do solo.

Lévando-se em conta que a camada de 0 a 5 cm de profundidade sofre os maiores níveis de compactação (KOBİYAMA e USHIWATA, 1993), e que a maior população dos organismos edáficos encontra-se nesta mesma camada (DUNGER, 1983; BERG e PAWLUK, 1984; FILSER, 1992 e CARVALHO, 1997), permite-se concluir que a grande importância do estudo do efeito da compactação sobre a população dos organismos do solo nesta camada.

2.5.1 Influência sobre as propriedades microbiológicas do solo

a. Biomassa microbiana

A biomassa microbiana do solo é definida como o componente microbiano vivo do solo e é composta de bactérias, fungos, microfauna e algas (WARDLE e HUNGRIA, 1994). O conceito de que, para determinados estudos, toda a população microbiana poderia ser tratada como um todo, foi proposto por JENKINSON (1966). Para se ter uma idéia da diversidade e quantidade de microrganismos, RITZ *et al.* (1994) citam que em apenas 1 cm³ de solo sob pastagem pode conter milhões de bactérias, milhares de protozoários, centenas de metros de hifas de fungos, centenas de fungos, insetos e outros organismos maiores.

A biomassa microbiana é um componente crítico de todos os ecossistemas naturais ou manipulados pelo homem, porque é o agente regulador da taxa de decomposição da matéria orgânica e da ciclagem dos elementos (JENKINSON e LADD, 1981), atuando, portanto, como fonte e dreno dos nutrientes necessários ao crescimento das plantas (LADD *et al.*, 1985).

HEISLER e KAISER (1995), KAISER *et al.* (1995) e DICK *et al.* (1988) demonstraram que há uma redução da biomassa de carbono microbiano em solos compactados quando comparados a solos não-compactados. Isto, segundo os autores, pode ser atribuído à restrição de aeração nos solos compactados (KAISER *et al.*, 1991). O que os levou a considerar a biomassa de carbono microbiano como um indicador sensível das mudanças nas propriedades biológicas do solo (CARTER, 1986).

Porém JENSEN *et al.* (1996) e ENTRY *et al.* (1996b) encontraram que a biomassa de carbono microbiano não variou significativamente em solos compactados quando comparados a solos não compactados. Estes autores consideram a diminuição da aeração do solo através da compactação, somente como um efeito indireto na biomassa microbiana. Para eles a biomassa microbiana não é considerada um indicador muito sensível da compactação do solo (JENSEN *et al.*, 1996).

b. Respiração do solo

Segundo FIEDLER e GRUNDA (1997) a maioria dos organismos vivos utilizam oxigênio para as suas oxidações enzimáticas assim como para a construção das células e liberam, ao final deste processo, dióxido de carbono. A respiração é compreendida aqui como um processo fornecedor de energia, aonde ligações orgânicas e/ou ligações inorgânicas reduzidas atuam como doadores de elétrons.

Como respiração do solo entende-se como a absorção de oxigênio e/ou liberação de dióxido de carbono pelas comunidades vivas e metabolizadoras de organismos do solo (FIEDLER e GRUNDA, 1997).

Segundo MARTINS *et al.* (1997) a respiração do solo, medida através do método de JENKINSON e POWLSON (1976), não sofre interferência significativa da mesofauna edáfica, podendo ser considerada como respiração microbiana.

JENSEN *et al.* (1996b) citam a respiração do solo com um parâmetro mais sensível à compactação do solo do que os parâmetros físicos. Em experimento realizado comparando-se áreas compactadas a áreas não-compactadas em solo agrícola e pastagem, os mesmos autores encontraram que o fluxo de CO₂ na superfície do solo compactado reduziu sensivelmente em ambos os solos (57% e 69% em comparação aos solos não-compactados). Os autores concluem que o grande decréscimo no fluxo de dióxido de carbono na superfície dos solos compactado é provavelmente causados pela redução na continuidade dos macroporos e não pelas limitações de substrato e oxigênio à atividade respiratória microbiana.

ROCHETTE *et al.* (1991) observando em um solo agrícola a entre linha não-compactada e entre linha compactada por trator de pneu, encontraram que a maior respiração do solo na entre linha não-compactada em relação à entre linha compactada, pode ter sido causada por um ambiente mais anaeróbico, ou à uma menor difusão de dióxido de carbono para a superfície do solo, com mais poros ocupados por água, na entre linha compactada.

2.5.2 Influência sobre a mesofauna edáfica

Segundo HEISLER (1989) os Oribatei (Acari: Cryptostigmata) e os Collembola (Insecta) (ambos pertencentes à categoria Mesofauna do Solo, segundo DUNGER, 1983), são os dois grupos mais ricos em número de espécies e indivíduos da fauna edáfica. SINGH e PILLAI (1975) afirmam que eles constituem de 72% a 97% do total de indivíduos de artrópodos do solo.

BAUCHHENß (1983) afirma que os Oribatei e Collembola têm uma grande importância na decomposição dos restos vegetais; sua necessidade nutricional de material vegetal é quase tão grande quanto à das minhocas. BUTCHER *et al.* (1971) citam que a mesofauna edáfica influencia indiretamente na fertilidade do solo, por meio da estimulação da atividade microbiana, da distribuição de esporos e da inibição

de fungos e bactérias causadoras de doenças. Por isto DUNGER (1983) considera a mesofauna do solo como catalizadora da atividade microbiana, principalmente pela melhora das condições de vida da comunidade microbiana. Como resultado de suas atividades no solo, a mesofauna pode aumentar em até seis vezes a velocidade de decomposição dos resíduos vegetais (BEHAN *et al.*, 1978), e, assim, acelerar a mineralização dos nutrientes (SEASTED, 1984).

Geralmente se considera que a macroflora afeta indiretamente a população da mesofauna, modificando o microclima, estrutura do solo, população microbiana ou através da formação de húmus (STRICKLAND, 1947; MACFADYEN, 1954; KNIGHT, 1961; PONGE, 1993). Muitos animais mostram preferências alimentares, e vão se alimentar seletivamente de certas espécies de folhas (DUNGER, 1962), raízes (WINNER, 1959) ou fungos (ADDISON e PARKINSON, 1978). Substâncias biologicamente ativas, excretadas pelas plantas, também mostraram exercer influência sobre diferentes espécies de Collembola (PALISSA, 1967; MUELLER e CHOU, 1972). Segundo BUND (1970) o número de Acari e Collembola é muito maior no sistema radicular de plantas, que no solo desprotegido de áreas em pousio. Ao que AL-ASSIUTY *et al.* (1993) acrescenta que os Oribatei, como grupo, respondem mais claramente ao tipo de vegetação que os Collembola. A especialização, em dado *microhabitat*, pode ser desenvolvida mais extensamente em Oribatei.

CHRISTIANSEN (1964) afirma que a mesofauna edáfica é altamente sensível à compactação do solo ou pressões superficiais. ARITAJAT *et al.* (1977) concluem que a redução das populações edáficas não se dá pela adversidade das condições físicas do solo, mas sim, provavelmente, pelo dano mecânico direto aos animais do solo. Já KAISER *et al.* (1991) e USHIWATA *et al.* (1995) afirmam que a compactação afeta fortemente a população da mesofauna edáfica, como consequência das modificações das propriedades físicas dos solos. O decréscimo da porosidade total do solo (compactação) é resultado principalmente da redução no volume de poros interagregados ($> 50 \mu\text{m}$) (MEYER, 1982), aonde habitam os organismos da mesofauna (JOSCHKO, 1990). Como estes organismos conseguem deslocar somente

as menores partículas do solo, os seus movimentos ficam restritos aos espaços porosos existentes (LEE e FOSTER, 1991).

DIDDEN (1987) e CHOUDHURI (1961) citam que os animais edáficos emigram do solo compactado, quando este já não possui espaço suficiente para seu próprio volume corporal. Isto se dá para minimizar o risco de dano à sua carapaça de crescimento.

Os Collembola são um dos grupos mais sensíveis às mudanças na estrutura do solo provocadas pela compactação (ARITAJAT *et al.*, 1977; HERMOSILLA *et al.*, 1977; HEISLER, 1991; HEISLER e KAISER, 1995; USHIWATA *et al.*, 1995). ARITAJAT *et al.* (1977) encontraram que quando o solo é compactado por uma passagem de trator, há uma marcante queda na população de Collembola. Com 10 passagens de trator, a queda é muito maior. O que concorda com os dados encontrados por HEISLER (1991; 1993) e HEISLER e KAISER (1995), quando afirmam que, quanto maior a compactação, menor a população de Collembola. Devido à sua sensibilidade à compactação do solo, espécies euedáficas de Collembola são considerados bioindicadores úteis em relação à compactação do solo (HEISLER, 1995).

Já os Oribatei são os representantes da mesofauna edáfica menos afetados pela compactação (HERMOSILLA *et al.*, 1977; ARITAJAT *et al.*, 1977; USHIWATA *et al.*, 1995). Segundo ARITAJAT *et al.* (1977) e USHIWATA *et al.* (1995) a população de Oribatei pode até aumentar quando o solo é compactado. USHIWATA *et al.* (1995) explicam que o aumento na população de Oribatei num solo compactado comparativamente a um solo não compactado se deve, principalmente, ao aumento na população de Oribatei Inferior, grupo este de grande resistência fisiológica individual de sobreviver em ambientes de alta influência antropogênica.

Segundo ARITAJAT *et al.* (1977) os Acari (não contando os Oribatei), assim como os Collembola, são muito sensíveis à compactação. HEISLER (1994) cita que, quanto maior a compactação, menor a diversidade de espécies de Acari, sobrevivendo somente àquelas espécies com tamanho corporal pequeno, o que possibilitaria sua locomoção pelos espaços porosos restantes.

2.6 AS CONSEQUÊNCIAS DA COMPACTAÇÃO AO CRESCIMENTO DAS ÁRVORES

Os efeitos contraditórios da compactação no crescimento das árvores refletem a variação do suplemento da aeração e da umidade em diferentes níveis de compactação. Se a umidade é limitante e a aeração é adequada, o efeito benéfico do aumento da umidade por unidade de volume de solo acontecerá somente em alguns níveis de compactação. Em níveis mais altos, o solo pode se tornar tão denso que o movimento da umidade é restrito, e o crescimento da árvore é inibido (LULL, 1959).

Parece haver uma densidade ideal de solo, ou um intervalo de densidade de solo, acima do qual ocorre uma diminuição na colheita. A compactação de solos “naturais” ou pouco trabalhados diminui a colheita, mas não sempre (GREACEN e SANDS, 1980). Uma redução no crescimento foi encontrada em essências florestais importantes economicamente, como *Pinus radiata* (POTTER e LAMB, 1974), *Pinus elliotti* (HAINES *et al.*, 1975), *Pinus taeda* (FOIL e RALSTON, 1967), *Pinus ponderosa* (TRUJILLO, 1976), *Pinus nigra var. maritima* (BERBEN, 1972), *Picea abies* (SOKOLOVSKAYA *et al.*, 1977) e *Pseudotsuga menziesii* (BERBEN, 1972). WORREL e HAMSON (1997) ao avaliarem o crescimento de árvores em solos compactados pelo tráfego e arraste, constataram que o crescimento em altura pode ser reduzido de 13 a 50% e o volume de 10 a 20%. A germinação de sementes e emergência de plântulas pode ser afetada negativamente pela compactação do solo (TAYLOR, 1971), assim como a regeneração natural em florestas (SOKOLOVSKAYA *et al.*, 1977). A compactação ocasionada por equipamentos de extração de madeira, por ocasião do corte raso, apresentou efeitos negativos sobre a produtividade de *Pinus taeda* aos quatro anos de idade; produtividade esta representada de forma direta, como volume total, ou indireta, através da altura média e somatório das alturas (FERNANDEZ *et al.*, 1995).

SMITH (1995) constatou que a compactação afetou significativamente o crescimento de *Eucalyptus grandis* (15,5%), *grandis* x *camaldulensis* (12,3%) e *grandis* x *urophylla* (16,2%)

A capacidade das raízes de penetrar o solo compactado varia de solo para solo e mesmo de planta para planta. Quase sempre o valor limite situa-se em torno de 1,75 g/cm³ para solos arenosos e de 1,45 g/cm³ para solos argilosos (VEIHMEYER e HENDRICKSON, 1948). RUARK *et al.* (1982) citam que a densidade do solo crítica máxima para o crescimento das plantas varia conforme a textura do solo. Plântulas de *Pinus taeda* foram encontradas tendo como limitante uma densidade do solo maior que 1,33 g/cm³ em solo areno-argiloso. Areias finas com poucos espaços porosos não capilares restringem o crescimento das raízes em densidades maiores que 1,20 g/cm³. ZISA *et al.* (1980) reportou restrição no crescimento de raízes de *Pinus* em densidades de 1,4 g/cm³ em solos argilo-siltosos e 1,6 g/cm³ em solos argilo-arenosos. Usando equações de regressão, HEILMAN (1981) estimou que os valores da densidade do solo que previnem a penetração das raízes de mudas de *Pseudotsuga menziesii* variaram de 1,74 a 1,83 g/cm³. Estes valores são maiores que os anteriormente citados para *P.menziesii*, porém comparáveis àqueles reportados para outras plantas em solo argiloso. MITCHELL *et al.* (1982) citam que quanto maior a densidade do solo, menor é o crescimento de mudas de *Pinus taeda*. BORGES *et al.* (1986) pesquisando a resposta de *Eucalyptus grandis*, *E. camaldulensis* e *E. tereticornis* à camadas compactadas de solo, mostrou que o crescimento das raízes foi nulo em camadas de solo cujas densidades eram superiores a 1,15 g/cm³. Pesquisas mostram que o crescimento de plântulas de cacau (*Theobroma cacao*) cultivadas em solos com densidades aparentes entre 1,0 e 1,1 foi normal, em contraste com o mau desenvolvimento das outras plantas em solos mais compactados. Atribuiu-se tal fato à carência de oxigenação dos solos submetidos a densidades maiores (1,2 e 1,3), concluindo-se pela importância da condutividade hidráulica, cujo índice, quando superior a 2,5 cm H₂O/hora, assegurou um bom desenvolvimento das plântulas de cacau, por permitir uma movimentação normal da água de percolação através do solo (SILVA *et al.*, 1977).

A redução no crescimento depende em quanto o sistema radicular foi afetado. Quanto mais perto da planta e mais fundo o sulco foi formado, maior a possibilidade da planta ser afetada. O efeito no crescimento total da planta depende da espécie e do

sítio. WÄSTERLUND (1985) cita que as raízes secundárias de *Picea albis* e *Pinus sylvestris* parecem ser mais afetadas pela compactação do solo do que as raízes primárias. Quando o crescimento das raízes para baixo foi impedido por uma alta densidade do solo, HEILMAN (1981) encontrou que a maior parte das raízes cresceu lateralmente na superfície do solo não compactada, chegando a um comprimento total maior do que aquelas que cresceram lateralmente em solos com níveis menores de densidade. Na Escandinávia, pinheiros noruegueses próximos à estrada tiveram uma perda de 30% no crescimento durante um período de cinco anos após o dano. A redução real no crescimento de plantas da bordadura (junto às estradas e/ou rotas de máquinas) pode chegar a 50% (WÄSTERLUND, 1989).

As raízes têm de superar a resistência do solo para penetrar em poros de diâmetro menor do que elas próprias. Devido ao fato da compactação aumentar a resistência do solo e diminuir o número de macroporos, a razão de alongação da raiz e, conseqüentemente, o comprimento dela, é reduzido. A razão típica de alongação é reduzida exponencialmente quando a resistência do solo (medida como resistência ao penetrômetro) aumenta, mas há um ponto crítico de resistência (q_c), acima do qual a penetração da raiz efetivamente cessa (GREACEN e SANDS, 1980). GREACEN *et al.* (1969) tabulou os valores de q_c num intervalo de 800 a 5000 (média 2500) kPa, dependendo da espécie, tipo de solo e características do penetrômetro. ZYUZ (1968) reportou raízes abundantes de *Pinus* em solo com resistência menor que 1700 kPa, porém a penetração foi restrita acima de 2500 kPa. MASON *et al.* (1988) mostraram que a penetração de raízes de *Pinus radiata* foi severamente restrita quando a resistência à penetração foi maior que 3000 kPa.

A compactação pode reduzir a macroporosidade a uma extensão em que o crescimento ou mesmo a sobrevivência das raízes é determinada pela disponibilidade de oxigênio quando o solo está úmido. Isto ocorre quando a necessidade de oxigênio para a respiração no solo excede a razão pela qual o oxigênio no ar do solo pode ser repostado pela atmosfera (GREACEN e SANDS, 1980). Isto ocorre quando a porosidade do solo cheia de ar é menor que aproximadamente 10% (GRABLE, 1971). HEILMAN (1981) cita que a porosidade do solo restritiva para o crescimento de raízes de mudas

de *Pseudotsuga menziesii* variou de 27 a 30%. Contudo a situação é consideravelmente mais complexa que isto (CANNEL, 1977). Por causa de sua longevidade, as árvores freqüentemente têm a experiência de falta de oxigênio (ou excesso de dióxido de carbono) no tempo, algumas se adaptam especificamente para tolerar baixas pressões parciais de oxigênio no solo. Estas adaptações incluem o desenvolvimento de espaços de ar no estilo de *Pinus contorta* (COUTTS e PHILIPSON, 1978), o desenvolvimento de raízes adventícias, oxidação da rizosfera, tolerância específica ao dióxido de carbono e respiração anaeróbica acelerada (HOOK e BROWN, 1973).

É difícil prever o efeito da compactação do solo no crescimento a campo, devido às interações envolvidas (GREACEN e SANDS, 1980). Um aumento na resistência do solo seguido de compactação pode resultar em um sistema radicular mais compacto, ocupando menor volume de solo (SANDS e BOWEN, 1978), mas isto não significa necessariamente que o crescimento vai ser reduzido. Segundo GREACEN e SANDS (1980), se o ar, água e nutrientes são supridos totalmente e o comprimento da raiz é suficiente para a absorção, então o crescimento da árvore não pode ser correlacionado ao sistema radicular restrito. Sob estas circunstâncias a compactação pode ser até benéfica. O suprimento de água à planta pode ser aumentado devido a maiores retenção de água e condutividade hidráulica. A ciclagem de íons móveis (exemplo, nitrato), que se move no solo principalmente por fluxo de massa, pode ser aumentada. A ciclagem de íons menos móveis (exemplo, fósforo, cobre e potássio), que se movem no solo principalmente por difusão, também pode ser aumentada, devido ao aumento do coeficiente aparente de difusão de íons, assim como concentrando mais íons num mesmo volume de solo (KEMPER *et al.*, 1971). Com compactação contínua, a difusão vai diminuir devido ao aumento da tortuosidade das rotas de difusão (PHILLIPS e BROWN, 1965). Contudo, se água e/ou nutrientes, dentro do volume de solo ocupado pelo sistema radicular restrito tornam-se limitantes, o crescimento vai ser inibido, a menos que o solo mais distante possa ser explorado pelas raízes. Sob estas circunstâncias a redução no espaço radicular efetivo imposta pela maior resistência do solo, inibirá o crescimento (PARISH, 1971).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA

O presente trabalho foi conduzido em área da fazenda Monte Alegre, pertencente à Klabin Fabricadora de Papel e Celulose S.A., no município de Telêmaco Borba, Segundo Planalto Paranaense, região central do Estado do Paraná, entre as coordenadas 50°37' longitude oeste e 24°20' latitude sul, numa altitude média de 850 metros (fig. 1).

O solo da área experimental foi caracterizado como sendo: Latossolo Vermelho-Escuro álico A moderado textura argilosa a muito argilosa, fase de relevo:

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE TELÊMACO BORBA, PR



suave ondulado ($d=6\%$); situação topográfica: terço superior da encosta; cor: A - 0-30 cm 2.5YR3/Y textura argilosa, B - 30-220+ cm 2.5YR4/Y textura argilosa. Para características químicas e físicas, ver apêndice 1. Este solo foi selecionado devido à sua grande ocorrência na região.

O clima desta região, conforme MAACK (1968) é, segundo a classificação de Köppen, classificado como Cfb, isto é, clima mesotérmico, subtropical úmido caracterizado por verões frescos. A pluviosidade média anual é de 1.399,5 mm, sendo bem distribuída por todo o ano, com exceção nos meses de julho e agosto, que são um pouco mais secos. A temperatura média anual é de 19°C e a umidade relativa do ar em torno de 76,5%, como média anual. Ocorrem diversas geadas durante o ano.

3.1.1 Histórico da área experimental

Anteriormente ao plantio florestal, a área experimental era utilizada como pátio de armazenamento de toras e manobras de máquinas. Com o intuito de verificar-se o efeito residual deste uso anterior, fez-se uma análise *in loco* da atividade biológica e do grau de compactação do solo. A área apresentou uma aparente grande atividade biológica *in loco* e as amostragens feitas com penetrômetro de impacto mostraram que alguns trechos foram utilizados, anteriormente, como estradas, estes então foram eliminados para a realização do presente trabalho.

A área experimental era povoada com *Eucalyptus grandis*, sendo realizado plantio manual com raiz envasada em janeiro de 1989. Como preparo de solo foi feita uma subsolagem a 50 cm de profundidade, com o auxílio de um *ripper*. O espaçamento foi de 2,5 x 2,5 m. A sobrevivência das mudas após o plantio, medida em março de 1989, foi de 93,05%. Os tratos culturais constituíram-se em limpeza nas linhas de plantio com enxada manual, realizado em abril de 1989; e, limpeza nas linhas de plantio com foice manual, realizado em outubro de 1989. Foi realizado o corte em final de abril de 1996, onde as cepas permaneceram e houve, então, a rebrota destas cepas.

3.2 DETALHES DO EXPERIMENTO E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS

No campo foram estudados com quatro tratamentos e 11 subtratamentos. Para cada tratamento foi marcada uma área de 12 x 30 m (360 m²). A figura 2 mostra os

tratamentos e seus respectivos subtratamentos onde foram realizadas coletas de material para estudo.

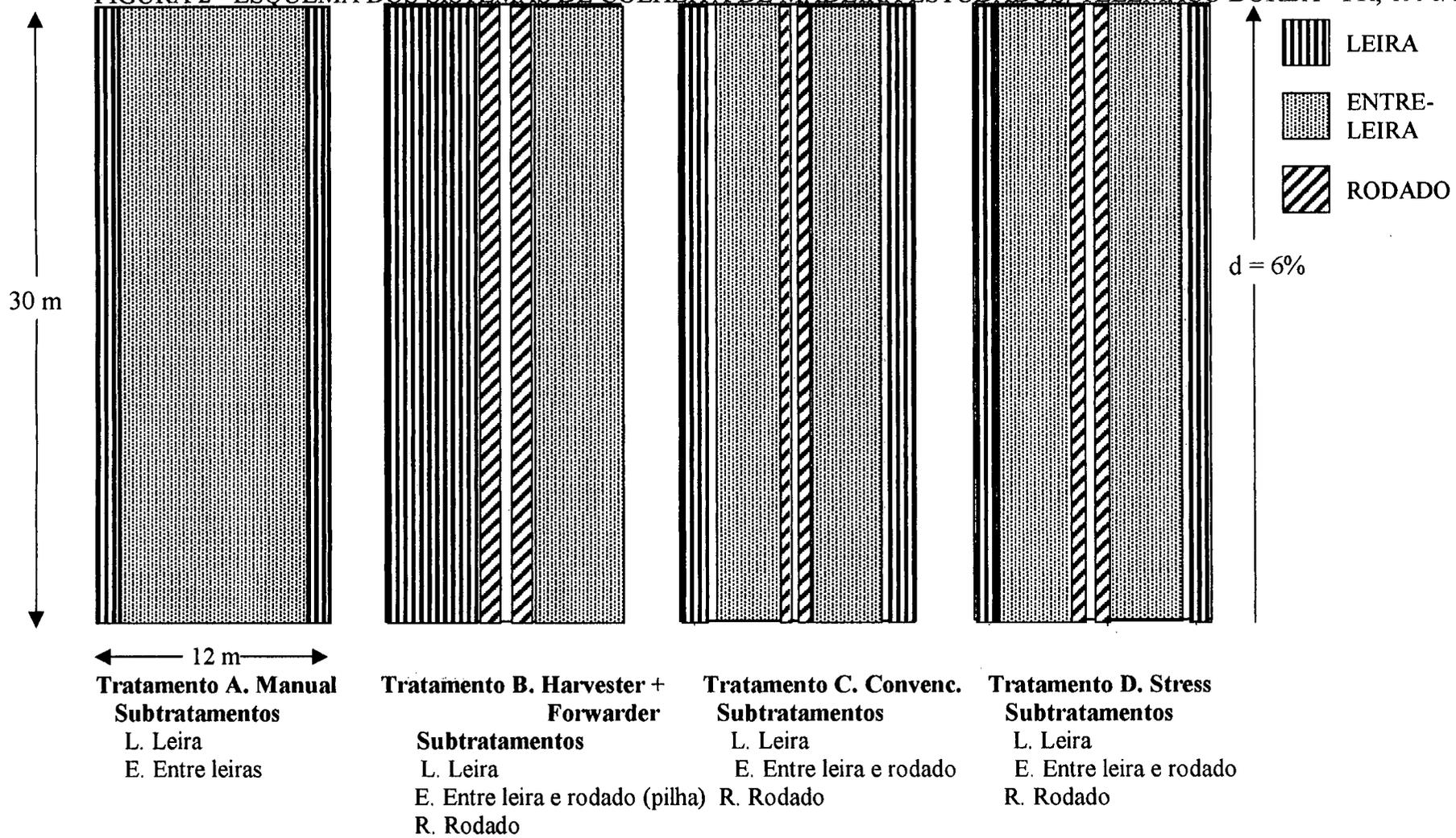
A tabela 1 mostra os equipamentos utilizados para corte e extração da madeira, bem como a passagem destes equipamentos sobre a área experimental. A descrição dos equipamentos utilizados encontra-se no Apêndice 2.

TABELA 1 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS E NÚMERO DE PASSAGENS DESTES SOBRE A ÁREA EXPERIMENTAL EM CADA UM DOS TRATAMENTOS REALIZADOS. TELÊMACO BORBA - PR, 1996.

<i>Sistemas de colheita de madeira</i>	<i>Equipamento utilizado para corte e extração de madeira</i>	<i>Intensidade de tráfego</i>		
		<i>Sem carga</i>	<i>Carregado</i>	<i>Total</i>
(A) MANUAL	a. Corte com motosserra e extração manual			
(B) HARVESTER + FORWARDER	a. Harvester Piko 450 b. Forwarder Sisu Valmet 636S	1	6	7
(C) CONVEN-CIONAL	Corte com motosserra e extração com: a. Trator de pneu Valmet 128 4x4 com carreta Krone 5 m eixo em Tandem b. Trator carregador Valmet 985 com equipamento carregador Valmet CF 2550 c. Skidder Caterpillar 515	2 1 2	8	13
(D) STRESS	Corte com motosserra e extração com: a. Trator de pneu Valmet 128 4x4 com carreta Krone 5 m eixo em Tandem b. Trator carregador Valmet 985 com equipamento carregador Valmet CF 2550 c. Forwarder Sisu Valmet 636S	18 3	30 9	60

Obs.: Os equipamentos faziam manobras para esquerda, direita, frente e trás sempre que necessário.

FIGURA 2 - ESQUEMA DOS SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA ESTUDADOS, TELÊMACO BORBA - PR, 1996/1997.



Cada um dos tratamentos consistiu de um sistema de colheita e extração de madeira. O sistema aqui chamado de Manual consistiu do corte das árvores com motosserra e extração manual, e pretendeu-se, assim, simular uma situação com pequeno impacto no solo. O sistema *Harvester + Forwarder* está sendo implantado na empresa. Neste sistema o *Harvester* equipado com um cabeçote e grua, corta, desgalha e traça a madeira, deixando-a ao lado para que, posteriormente o *Forwarder* realize a operação de extração desta madeira. O sistema assim chamado Convencional é o que a empresa usualmente utiliza para a colheita e extração de madeira; onde é feito o corte com motosserra e a extração de madeira com tratores equipados com carregadores. No sistema chamado, neste trabalho, *stress*, o corte e a extração foram realizados da mesma maneira do que no sistema anterior, porém pretendeu-se mostrar uma situação de extremo impacto pelo uso intenso de máquinas, simulando uma rua de acesso à estrada.

3.3 AMOSTRAGENS

Uma vez retirada a floresta de *Eucalyptus grandis* pelos diferentes sistemas de colheita de madeira citados anteriormente, iniciou-se a coleta de amostras para análises biológicas do solo (populações microbianas, respiração do solo e mesofauna edáfica), análises químicas do solo, análises físicas do solo (densidade aparente e porosidade total do solo, granulometria, temperatura e umidade atual do solo), área afetada pela compactação e rebrota das cepas, conforme tabela 2. Todas as amostragens de solo foram feitas sem coleta de eventual serrapilheira que houvesse; e foram feitas nas áreas de acumulação de galhos e folhas (aqui chamado de “leiras”), entre leiras e rodado (área do tráfego de máquinas).

As amostragens para mesofauna edáfica, análises químicas, granulometria, temperatura e umidade do solo, foram retiradas simultaneamente, sempre (em todas as épocas de coleta) no mesmo horário, sendo: das 9:00 às 10:00 hs., Tratamento *Stress*; das 10:00 às 11:00 hs., Tratamento Convencional; das 11:00 às 12:00 hs., Tratamento *Harvester + Forwarder* e, das 12:00 às 13:00 hs., Tratamento Manual.

3.3.1 Biológicas

a. Populações microbianas

As populações microbianas do solo, representadas neste trabalho pelos fungos e bactérias, foram estudadas com base em coletas feitas no período de 02 de maio de 1996 a 30 de abril de 1997. Foram realizadas no total sete coletas, com período aproximado entre elas de oito semanas. A cada data de coleta (neste trabalho, referida como “época”), efetuou-se, aleatoriamente, uma amostra composta (oito pontos) por subtratamento a cada época, na profundidade de 0 a 5 cm.

As avaliações das populações microbianas do solo foram realizadas pela técnica da diluição decimal em série e contagem em placa de Petri. Realizaram-se diluições decimais em série a partir de 10 g de solo úmido, previamente peneirado em malha de 2 mm e transferido para frascos contendo 90 ml de solução salina (VINCENT, 1970) e três esferas de vidro (5 a 6 mm de diâmetro), previamente esterilizado. A suspensão formada (solo + solução) foi agitada a 100 rpm durante 30 minutos em agitador mecânico de movimentação circular. Desta suspensão procederam-se as diluições decimais seriadas até 10^5 .

Para as populações de bactérias em geral utilizaram-se as diluições de 10^3 , 10^4 e 10^5 , inoculando-se 1,0 ml da suspensão por diluição na superfície de três placas de Petri vazias, procedendo-se após o enchimento da placa com o meio de cultura de THORTON (1922). Após a inoculação, as placas foram incubadas à temperatura ambiente em posição invertida, durante um período de 7 dias + 7 dias com temperatura de 25°C. Após, fez-se a contagem, sempre procurando selecionar diluições que fornecessem valores entre 20 a 300 Unidades Formadoras de Colônias (UFC)/placa.

Para a contagem dos fungos, utilizaram-se as diluições 10^2 , 10^3 e 10^4 e o meio de cultura de Martin (MENZIES, 1965). Após um período de incubação de 7 dias à temperatura ambiente, realizou-se a contagem do número de UFC.

b. Respiração microbiana

A medição da respiração microbiana, medida entre 25 de junho de 1996 e 30 de abril de 1997, foi procedida conforme metodologia de JENKINSON e POWLSON (1976), sendo que 300 g de solo peneirado a 2 mm foram retirados das mesmas amostras compostas realizadas para contagem da populações microbianas, e medida a sua respectiva umidade atual (base peso seco). Esta amostra foi então subdividida em três repetições de 100 g, cada qual colocada no fundo de um frasco de vidro transparente de 1 l. Dentro deste mesmo frasco foram adicionados, em pequenos copos de Becker, 10 ml de água destilada (para manutenção da umidade do ar) e 30 ml de NaOH 0,5 N. Foram deixados, então, para incubação à temperatura ambiente. Aos 10 e 20 dias foram retiradas alíquotas de 10 ml de NaOH e tituladas com HCl 0,5 N. A equação utilizada para cálculo da taxa de respiração foi a seguinte (JENKINSON e POWLSON, 1976):

$$mgC-CO_2 \text{ grama de solo seco} = (P.B. - amostra) \times Dil. \times Norm. HCl \times Eq.C \times F.U.$$

onde: *P.B.* = prova em branco

Dil. = diluição da alíquota em relação ao total de NaOH utilizado

Norm. HCl = normalidade do HCl utilizado

Eq. C = equivalente grama do Carbono

F.U. = fator umidade da amostra

c. Mesofauna edáfica

Os organismos da mesofauna edáfica, considerados neste trabalho, foram estudados com base em coletas feitas no período de 02 de maio de 1996 a 30 de abril de 1997. Foram realizadas no total sete coletas, com período aproximado entre elas de oito semanas. A cada época, efetuou-se nove amostragens por subtratamento e 99 amostras a cada época. Foram efetuadas no total 693 amostras para análise da

mesofauna edáfica. Paralelamente a estas, foram retiradas amostras para temperatura, umidade, fertilidade e granulometria do solo, conforme tabela 2.

A coleta da mesofauna edáfica foi feita com o auxílio de um trado tipo calador, com 3,8 cm de diâmetro, de 0 a 5 cm de profundidade, totalizando-se uma área coletada de 11,34 cm² e volume de 28,35 cm³. Imediatamente após a coleta, as amostras eram embaladas em cartuchos plásticos, visando minimizar as perdas de umidade e colocadas em caixas de isopor com gelo. Então eram levadas ao laboratório onde eram instaladas em mesas extratoras onde estavam instalados Funis de Berleze modificados, cuja fonte de calor e luz eram lâmpadas de 25 W, e estas permaneciam 7 dias. Os organismos da mesofauna edáfica eram, então, recolhidos em frascos plásticos contendo uma solução de 70% de álcool, 28% de água e 2% de glicerina. Em seguida eram feitas a triagem e contagem dos diferentes grupos taxonômicos, com o auxílio de microscópio estereoscópico (MICRONAL Modelo SZ-111-BR).

3.3.2 Químicas

Foram realizadas coletas de solo para análise química em três épocas durante o período estudado: no início do experimento (2 de maio de 1996), no meio do período do experimento (28 de outubro de 1996) e no final do período do experimento (30 de abril de 1997). A cada época estudada efetuou-se três amostras por subtratamento e 33 amostras a cada época. Foram efetuadas no total 99 amostras para análise das características químicas do solo. A profundidade de coleta foi de 0 a 5 cm.

As amostras de solo para esta análise foram retiradas ao lado das amostras para análise da fauna do solo. Em seguida foram acondicionadas em sacos plásticos para posterior análise em laboratório.

As análises químicas foram efetuadas no Laboratório de Química do Solo do Departamento de Solos do Setor de Ciências Agrárias da UFPR.

- a. Teor de carbono Orgânico: determinado pelo Método Calorimétrico, segundo QUAGGIO e RAIJ (1979);
- b. pH (CaCl₂): 0,01 M, com relação solo-água 1:2,5, segundo metodologia EMBRAPA (1979);
- c. Al: titulado com NaOH 0,025 N - extrator KCl 1:10, segundo EMBRAPA (1979);
- d. P: calorimetria - formação azul de fosfolibdato de amônio, extrator Mehlich 1:10 (EMBRAPA, 1979);
- e. K: método de fotômetro de chama, extrator Mehlich 1:10 (EMBRAPA, 1979);
- f. Ca + Mg: complexometria - EDTA 0,0125 M - Extrator KCl 1:10 (EMBRAPA, 1979);
- g. H + Al: método SMP (RAIJ e QUAGGIO, 1979).

3.3.3 Físicas

a. Densidade aparente do solo e porosidade do solo

Foram realizadas coletas de solo para análise da densidade aparente e porosidade total do solo em duas épocas durante o período estudado: no início do experimento (2 de maio de 1996) e no final do período do experimento (30 de abril de 1997). A cada época estudada, efetuou-se três amostras por subtratamento e 33 amostras a cada época, à profundidade de 0 a 5 cm.

Devido às condições oferecidas, no momento deste trabalho, de laboratório, foi feita a opção por medir a densidade aparente do solo e a porosidade total do solo. Estas foram determinadas segundo o método do Anel Volumétrico (EMBRAPA, 1979), conforme as fórmulas a seguir:

densidade aparente (g/cm³) = peso da amostra seca a 105° C / volume do anel

porosidade total (cm³/ cm³) = 100 (peso do solo saturado - peso do solo seco a 105°C / volume do anel)

Os anéis utilizados tinham altura de 4,05 cm e diâmetro de 5,55 cm, totalizando um volume de 97,97 cm³.

b. Granulometria

Foram realizadas coletas de solo para análise da granulometria do solo em três épocas durante o período estudado: no início do experimento (2 de maio de 1996), no meio do período do experimento (28 de outubro de 1996) e no final do período do experimento (30 de abril de 1997). A cada época estudada, efetuou-se três amostras por subtratamento e 33 amostras a cada época. Foram efetuadas no total 99 amostras para análise da granulometria do solo. A profundidade de coleta foi de 0 a 5 cm.

As amostras de solo para esta análise foram retiradas ao lado das amostras para análise da fauna do solo. Em seguida foram acondicionadas em sacos plásticos para posterior análise em laboratório.

As análises de granulometria do solo foram efetuadas no Laboratório de Solos da Klabin Fabricadora de Papel e Celulose S.A., em Telêmaco Borba - PR, segundo o método da EMBRAPA (1979): a fração argila foi determinada pelo método do densímetro; a fração areia por tamisação; e a fração silte por diferença, sendo as amostras inicialmente dispersas mecanicamente pelo agitador Stirrer.

c. Temperatura do solo

Foram realizadas medições da temperatura do solo em todas as épocas de coleta, ao lado das amostras de fauna do solo. A cada época estudada, efetuou-se três amostras por subtratamento e 33 amostras a cada época.

Para medição da temperatura do solo foi utilizado um termômetro digital de solo marca ROBERTSHAW, com sensor de AlCr, tipo de penetração, inserido até 2,5 cm de profundidade.

d. Umidade gravimétrica do solo

A umidade gravimétrica do solo foi estudada com base em coletas feitas no período de 02 de maio de 1996 a 30 de abril de 1997. Foram realizadas no total sete coletas, com período aproximado entre elas de oito semanas. A cada época efetuou-se três amostras por subtratamento e 33 amostras a cada época. Foram efetuadas no total 231 amostras para análise da umidade atual do solo.

As amostras de solo para esta análise foram retiradas ao lado das amostras para análise da fauna do solo. Em seguida foram acondicionadas em sacos plásticos para posterior análise em laboratório. A metodologia utilizada foi a recomendada pela EMBRAPA (1979):

$$\text{Umidade (g/g)} = 100 \times \left\{ \frac{\text{peso da amostra úmida} - \text{peso da amostra seca a } 105^{\circ}\text{C}}{\text{peso da amostra seca a } 105^{\circ}\text{C}} \right\}$$

3.3.4 Área utilizada em cada subtratamento

Em 28 de agosto de 1996, a área afetada pela compactação foi medida com o auxílio de uma trena. Foram feitas três repetições de cada subtratamento. As áreas de cada subtratamento foram identificadas visualmente, medidas e então transformadas em porcentagem de área em relação ao total de área de cada tratamento.

3.3.5 Rebrotas das cepas

No final do experimento, antes da desbrota, a altura das duas maiores rebrotas de cada cepa foi medida com o auxílio de varas telescópicas, com marcações a cada 10 centímetros; e o diâmetro à altura do peito, com o auxílio de uma suta.

3.3.6 Dados meteorológicos

Foram utilizados os dados recolhidos pela Estação Meteorológica do IAPAR, situado no Distrito de Lagoa, município de Telêmaco Borba - PR (Latitude sul -

24°12'42''; Longitude oeste - 50°33'26'' e Altitude - 885,2 metros), situado a cerca de 20 km do local do experimento (Apêndices 3 e 4).

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos do crescimento em altura das árvores foram, primeiramente, comparados com o teste de Bartlett, para verificar-se se havia homogeneidade de variâncias. Verificada a homogeneidade de variâncias, foram então submetidos à análise de variância (F-teste) e as médias foram comparadas pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade, conforme COCHRAN e COX (1957).

Os dados obtidos da mesofauna edáfica foram primeiramente testados quanto à homogeneidade de variâncias, pelo teste de Bartlett; quando necessário foi procedida à transformação dos dados em raiz quadrada de $X + 10$ (GERARD e BERTHET, 1966), onde x é o dado original. Foram submetidos novamente ao teste de Bartlett, e, verificadas as homogeneidades das variâncias, foram então submetidos à análise de variância (F-teste) e as médias foram comparadas pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade, conforme COCHRAN e COX (1957).

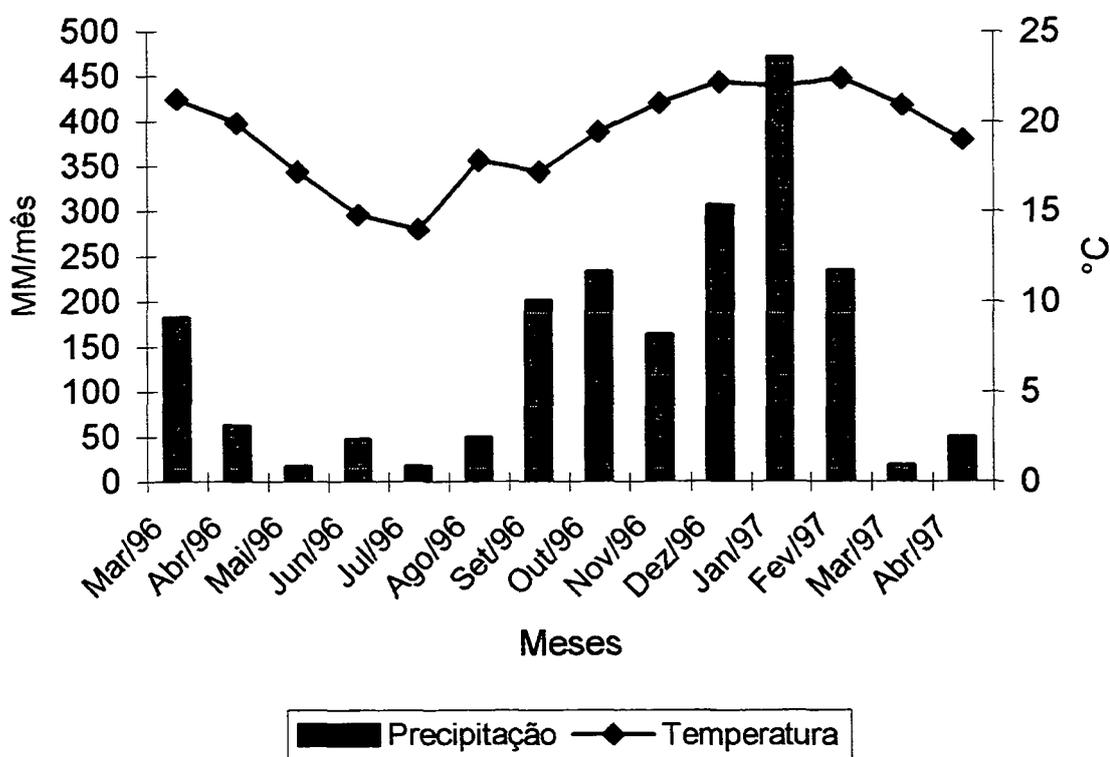
Para a análise das médias finais dos organismos segundo os tratamentos, foram calculadas médias ponderadas de cada subtratamento, segundo a porcentagem de área que cada um ocupa. Então estes dados foram submetidos à análise de variância (F-teste) e as médias foram comparadas pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade. Em relação às populações de bactérias e à respiração do solo foi procedida à transformação dos dados em raiz quadrada de $X + 0,5$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 FLUTUAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR E DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL

A figura 3 mostra a flutuação da temperatura média diária ($^{\circ}\text{C}$) e da soma da precipitação pluvial diária acumulada no mês (mm), recolhidos pela Estação Meteorológica do IAPAR, situado no Distrito de Lagoa, município de Telêmaco Borba - PR, situado à cerca de 20 km do local do experimento.

FIGURA 3 - TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA ($^{\circ}\text{C}$) E SOMA MENSAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL DIÁRIA ACUMULADA (MM). TELÊMACO BORBA, PR - 1996/1997.



4.2 UMIDADE GRAVIMÉTRICA DO SOLO POR OCASIÃO DA INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

Por ocasião da instalação do experimento o solo do Tratamento Manual possuía umidade gravimétrica de 34,67%; no Tratamento Harvester + Forwarder a umidade era de 35,66%; no Tratamento Convencional, 36,0%; e no Tratamento Stress, 31,67%.

4.3 ÁREA UTILIZADA EM CADA SUBTRATAMENTO

A tabela 3 mostra a percentagem de ocupação de cada subtratamento, em relação ao total de área do tratamento.

É interessante notar que nos subtratamentos AL, CL, e DL a leira ocupou cerca de 20% da área total do tratamento. No subtratamento AE, que não possuía área de tráfego de máquinas, a área ocupada ficou em torno de $81,3 \pm 3,02$ %. Já em CE e DE, a área ocupada ficou em torno de 60%; explica-se esta diferença de, em torno, 20%, entre CE/DE e AE, porque nos tratamentos C e D houve tráfego de máquinas (em torno de 20% do total da área dos tratamentos), sendo o tráfego realizado na área de entre-leiras.

Verifica-se que a área diretamente afetada pelas máquinas utilizadas foi de $22,7 \pm 1,8$ % no tratamento de *Harvester + Forwarder*, $17,6 \pm 2,4$ % no tratamento de sistema convencional e $19,4 \pm 0,73$ % no tratamento de *stress*. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por ABDULHADI *et al.* (1981), MALMER e GRIP (1990) e JUSOFF e MAJID (1992): 30%, 24% e 23,1%, respectivamente, em áreas afetadas pelo tráfego de máquinas na extração da madeira, em relação ao total da área. A maior percentagem, de área diretamente afetada pelo tráfego de máquinas, encontrada no tratamento de *Harvester + Forwarder* talvez se dê pelo fato de que neste tratamento a largura do *Harvester* utilizado ser maior do que nos equipamentos utilizados nos outros tratamentos.

TABELA 3 - VALOR DA PERCENTAGEM DE ÁREA UTILIZADA EM CADA UM DOS SUBTRATAMENTOS. MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES. A - CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA (AL - LEIRA; AE - ENTRE LEIRAS); B - HARVESTER + FORWARDER (BL - LEIRA; BE - ENTRE LEIRA E RODADO; BR - RODADO); C - SISTEMA CONVENCIONAL (CL - LEIRA; CE - ENTRE LEIRA E RODADO; CR - RODADO); D - STRESS (DL - LEIRA; DE - ENTRE LEIRA E RODADO; DR - RODADO). TELÊMACO BORBA, PR - 1996/1997.

Tratamento	Média (%)
AL	18,7 ± 3,02
AE	81,3 ± 3,02
Total	100
BL	38,6 ± 0,96
BE	38,7 ± 1,27
BR	22,7 ± 1,80
Total	100
CL	22,3 ± 1,82
CE	60,1 ± 3,68
CR	17,6 ± 2,40
Total	100
DL	18,1 ± 1,26
DE	62,5 ± 1,50
DR	19,4 ± 0,73
Total	100

4.4 EFEITO DA COMPACTAÇÃO SOBRE DENSIDADE APARENTE E POROSIDADE TOTAL DO SOLO

A tabela 4 mostra a densidade aparente e porosidade total do solo encontrados nos diferentes subtratamentos.

Em relação à densidade aparente do solo, verifica-se que ela foi, dentro de um mesmo tratamento, sempre maior nos subtratamentos onde houve maior distúrbio através do tráfego de máquinas pesadas (BR, CR e DR) e menor nos subtratamentos onde não houve distúrbio ou o mesmo foi de menor magnitude (AL, BL, CL, DL, AE, BE, CE e DE), o que concorda com MATTHES *et al.* (1989), onde os autores citam que o grau de compactação depende do número de passadas do veículo sobre o terreno.

TABELA 4 - DENSIDADE APARENTE (g/cm^3) E POROSIDADE TOTAL DO SOLO (cm^3/cm^3), NA CAMADA DE 0 A 5 CM DE PROFUNDIDADE, EM CADA UM DOS TRATAMENTOS E SEUS SUBTRATAMENTOS. MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES. A - CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA (AL - LEIRA; AE - ENTRE LEIRAS); B - HARVESTER + FORWARDER (BL - LEIRA; BE - ENTRE LEIRA E RODADO; BR - RODADO); C - SISTEMA CONVENCIONAL (CL - LEIRA; CE - ENTRE LEIRA E RODADO; CR - RODADO); D- STRESS (DL - LEIRA; DE - ENTRE LEIRA E RODADO; DR - RODADO). TELÊMACO BORBA, PR - 1996/1997.

Tratamentos	Densidade aparente do solo (g/cm^3)		Porosidade total do solo (cm^3/cm^3)	
	Maió/1996	Maió/1997	Maió/1996	Maió/1997
AL	1,04	1,05	0,53	0,64
AE	1,14	1,17	0,53	0,59
BL	1,14	1,13	0,53	0,62
BE	1,11	1,15	0,57	0,60
BR	1,35	1,18	0,48	0,60
CL	1,20	1,18	0,52	0,60
CE	1,10	1,18	0,54	0,60
CR	1,40	1,31	0,50	0,56
DL	1,11	1,03	0,56	0,61
DE	1,11	1,10	0,56	0,61
DR	1,36	1,50	0,48	0,54

A densidade aparente do solo manteve-se constante, durante o ano, nos subtratamentos de AL, BL, CL e DE, aumentou nos subtratamentos AE, BE, CE e DR, e diminuiu nos subtratamentos BR, CR e DL.

Comportamento inverso teve a porosidade total do solo, que foi menor nos subtratamentos onde houve maior tráfego de veículos (BR, CR e DR), o que concorda com SANDS *et al.* (1979), GAYOSO e IROUMÉ (1991) e RAB (1994), afetando a continuidade dos macroporos e os parâmetros de transferência de água e ar (KEILEN, 1992; MATTHIES *et al.*, 1995).

No subtratamento DR observa-se que, depois de um ano, a densidade aparente do solo aumentou, porém a porosidade total também aumentou, quando deveria diminuir. Isto pode ser devido, talvez, à alterações na densidade real do solo (densidade de partículas) no decorrer do experimento, por vários motivos: perda de matéria orgânica pela lixiviação, escoamento superficial, atividade biológica, alterações nas relações argila/silte/areia, entre outros motivos.

4.5 EFEITO DA COMPACTAÇÃO SOBRE A REBROTA DAS CEPAS

A tabela 5 mostra o crescimento em altura e diâmetro da rebrota das cepas de *Eucalyptus grandis* depois de um ano do corte raso em cada subtratamento, dentro de seu respectivo tratamento.

Nota-se que nos subtratamentos onde houve uma maior compactação do solo, houve menor crescimento em altura e diâmetro da rebrota das cepas (BR – *Harvester+Forwarder* – Rodado; CR – Sistema Convencional – Rodado; DR – *Stress* – Rodado). Se verificarmos a tabela 5, ver-se-á que, exatamente nestes subtratamentos que se encontram as maiores densidades do solo (em maio de 1996: 1,35; 1,40 e 1,36, respectivamente) e as menores porosidades do solo (em maio de 1996: 0,48; 0,50 e 0,48, respectivamente). Este resultado concorda com vários autores (POTTER e LAMB, 1974; TRUJILLO, 1976; FERNANDEZ *et al.*, 1995). BORGES *et al.* (1986) pesquisando a resposta de *Eucalyptus grandis*, *E. camaldulensis* e *E. tereticornis* à camadas compactadas do solo, mostraram que o crescimento das raízes foi nulo em

TABELA 5 – REBROTA DAS CEPAS EM CADA UM DOS TRATAMENTOS E SEUS SUBTRATAMENTOS. A – CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA (AL – LEIRA; AE – ENTRE LEIRAS); B – HARVESTER + FORWARDER (BL – LEIRA; BE – ENTRE LEIRA E RODADO; BR – RODADO); C – SISTEMA CONVENCIONAL (CL – LEIRA; CE – ENTRE LEIRA E RODADO; CR – RODADO); D – STRESS (DL – LEIRA; DE – ENTRE LEIRA E RODADO; DR – RODADO). TELÊMACO BORBA, PR – 1996/1997.

Tratamentos	Altura (m)	Diâmetro (cm) *
AL	4,5 ab	4,0
AE	4,5 ab	3,6
BL	4,0 abc	3,5
BE	4,8 a	4,1
BR	3,7 bc	3,3
CL	4,0 abc	3,7
CE	4,0 abc	3,9
CR	3,3 c	3,1
DL	4,0 abc	4,0
DE	4,3 ab	4,2
DR	2,4 d	2,8

Médias da mesma coluna, seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

* Teste de Bartlett revelou que, mesmo com a transformação dos dados, não haver homogeneidade de variâncias, por isto não foi realizada nenhuma avaliação estatística, permanecendo somente a média aritmética.

camadas de solo cujas densidades eram superiores a $1,15 \text{ g/cm}^3$. Atribuiu-se este menor crescimento das árvores à carência de oxigenação das raízes (BORGES *et al.*, 1986; GREACEN e SANDS, 1980; HEILMAN, 1981).

4.6 EFEITO DA COMPACTAÇÃO SOBRE A POPULAÇÃO MICROBIANA DO SOLO

4.6.1 Efeito da compactação na população e atividade microbiana

Observando-se os dados da tabela 6, verifica-se que a maior densidade populacional (média das sete épocas), entre os dois grupos de microrganismos estudados, foi entre as bactérias, variando entre 46,4 a 122,7 x 1000 UFC/g.solo seco, nos subtratamentos CR e DL, respectivamente. Entre os fungos a densidade populacional variou entre 29,7 e 65,5 x 100 UFC/g.solo seco, nos subtratamentos BR e AE, respectivamente. E a respiração microbiana variou entre 18 e 34,8 mg C-CO₂, nos subtratamentos CR e DL, respectivamente. São densidades populacionais bem abaixo das médias verificadas em solos agrícolas e, também, mais baixas do que as médias verificadas em solo cultivados com monoculturas de *Eucalyptus*, durante o processo de crescimento, medidas, porém, sem influência de atividades culturais de alto impacto como a colheita e extração da madeira (EDITH e MARQUES, 1984).

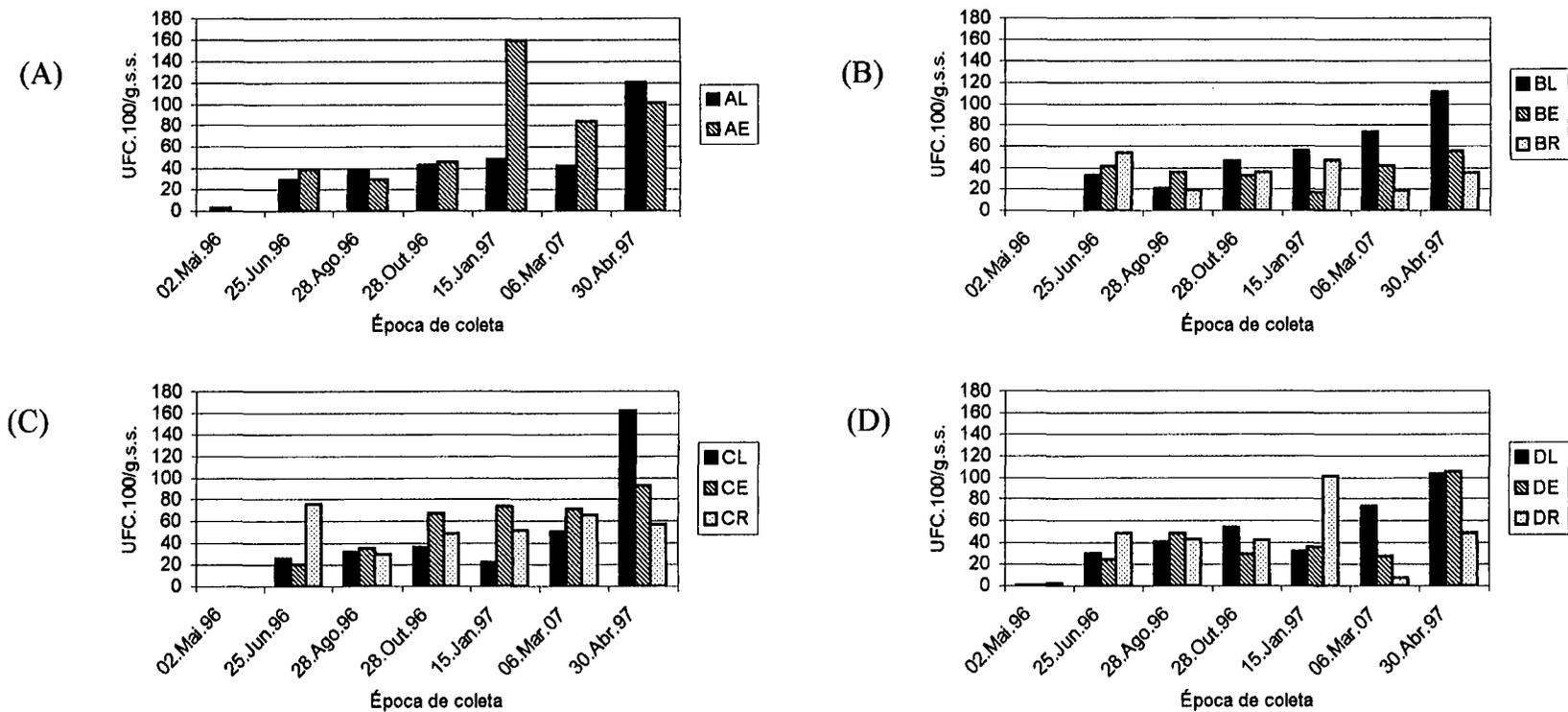
TABELA 6 - DENSIDADES POPULACIONAIS DOS MICRORGANISMOS E RESPIRAÇÃO MICROBIANA, NA CAMADA DE 0 A 5 CM DE PROFUNDIDADE, EM CADA UM DOS SUBTRATAMENTOS. A - CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA (AL - LEIRA; AE - ENTRE LEIRAS); B - HARVESTER + FORWARDER (BL - LEIRA; BE - ENTRE LEIRA E RODADO; BR - RODADO); C - SISTEMA CONVENCIONAL (CL - LEIRA; CE - ENTRE LEIRA E RODADO; CR - RODADO); D - STRESS (DL - LEIRA; DE - ENTRE LEIRA E RODADO; DR - RODADO). TELÊMACO BORBA, PR - 1996/1997.

	<i>Bactérias</i>	<i>Fungos</i>	<i>Respiração microbiana</i>
	UFC x 1000	UFC x 100	mg C-CO ₂
AL	121,0	46,2	30
AE	76,8	65,5	21,3
BL	79,5	48,6	26,7
BE	74,5	32,0	22,2
BR	78,2	29,7	34
CL	72,5	46,7	29
CE	60,1	51,3	20
CR	46,4	46,7	18
DL	122,7	47,5	34,8
DE	94,0	38,6	30,3
DR	78,5	41,7	31,8

4.6.2. Flutuação populacional de fungos

A figura 4 apresenta a flutuação populacional dos fungos durante o período do experimento. Nota-se que a população de fungos foi muito menor no início do experimento, mostrando a sua sensibilidade à ações de origem antropogênica no ambiente. Ao longo do período do experimento, as populações foram aumentando, atingindo, nos subtratamentos AL, BL, BE, CL, CE, DL e DE, picos populacionais no final de abril, o que é um comportamento diferenciado do das bactérias, que tiveram seu pico populacional, na maioria dos casos, no início do

FIGURA 4 - FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE FUNGOS, NA CAMADA DE 0 A 5 CM, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE-ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER+FORWARDER (BL-LEIRA; BE-ENTRE LEIRA E RODADO; BR-RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL-LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DR-RODADO). TELÊMACO BORBA-PR, 1996/1997.



experimento ou em janeiro. Estes resultados concordam com DIONÍSIO (1996) e EDITH e MARQUES (1984), que pesquisaram a população de microrganismos em monoculturas de *Eucalyptus* em São Paulo e no cerrado brasileiro, respectivamente. Já os subtratamentos AE e DR, mais dependentes das condições climáticas, tiveram seus picos populacionais registrados em janeiro (verão), quando houve o máximo de precipitação pluvial. Os subtratamentos CR e BR mantiveram populações mais reduzidas durante todo o período do experimento.

4.6.3 Flutuação populacional de bactérias

Entre os subtratamentos estudados neste trabalho, os subtratamentos AL e DL tiveram as maiores densidades populacionais (121,0 e 122,7 x 1000 UFC/g.solo seco, respectivamente) (tab. 6). Provavelmente estes resultados se devem à adição de matéria orgânica acumulada na forma de leiras nestes subtratamento (DIONÍSIO, 1996), o que favoreceu a população de bactérias pelo fornecimento de carbono e nitrogênio. E os subtratamentos com menores densidades populacionais foram CE e CR (60,1 e 46,4 x 1000 UFC/g.solo seco, respectivamente) (tab. 6). Nestes subtratamentos, além de haver pouquíssima matéria orgânica para decomposição, outros parâmetros, como talvez a falta de oxigênio no solo compactado, determinaram a queda da população.

A figura 5 apresenta a flutuação populacional das bactérias durante o período do experimento. Nota-se que a população de bactérias teve variações ao longo do ano, com destaque à primeira época de coleta onde todos os subtratamentos, especialmente àqueles submetidos ao trânsito de máquinas pesadas, tiveram seus picos populacionais. Isto pode ter sido causado pelo aumento do número de bactérias anaeróbicas facultativas e/ou microaerófilas (dados de observação, não medidos) presentes nestas áreas, já que logo após a implantação do experimento a densidade aparente do solo era mais alta e a porosidade total do solo, mais baixa, do que ao final do experimento (tab. 4).

FIGURA 5 - FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE BACTÉRIAS, NA CAMADA DE 0 A 5 CM, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE-ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER+FORWARDER (BL-LEIRA; BE-ENTRE LEIRA E RODADO; BR-RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL-LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DR-RODADO). TELÊMACO BORBA-PR, 1996/1997.

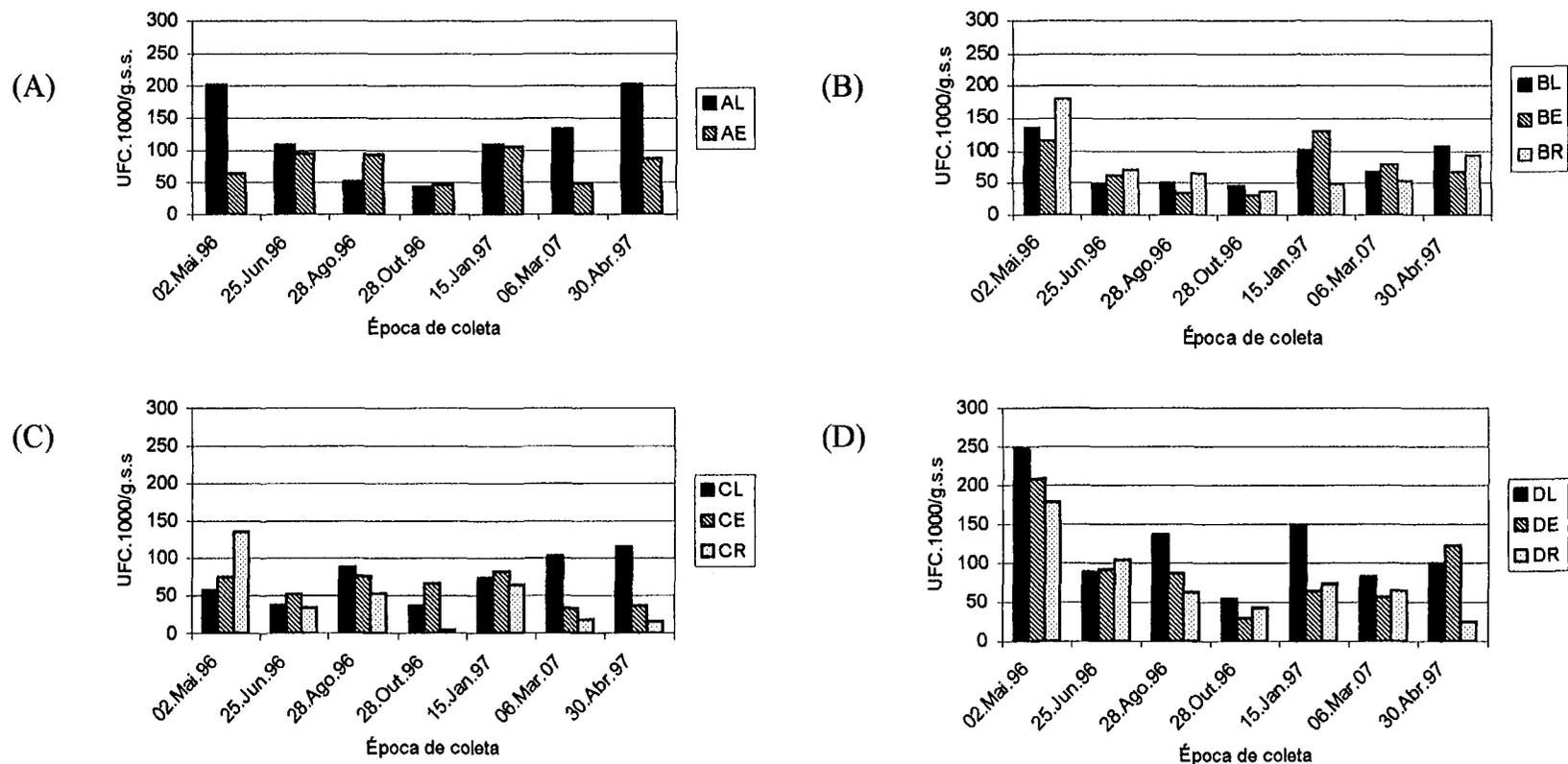


TABELA 7 - ALGUNS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO, COLETADOS NA CAMADA DE 0 A 5 CM DE PROFUNDIDADE, PARA ANÁLISE DOS MICRORGANISMOS, EM CADA UM DOS SUBTRATAMENTOS. MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES. A - CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DE MADEIRA (AL - LEIRA; AE - ENTRE LEIRAS); B - HARVESTER + FORWARDER (BL - LEIRA; BE - ENTRE LEIRA E RODADO; BR - RODADO); C - SISTEMA CONVENCIONAL (CL - LEIRA; CE - ENTRE LEIRA E RODADO; CR - RODADO); D - STRESS (DL - LEIRA; DE - ENTRE LEIRA E RODADO; DR - RODADO). TELÊMACO BORBA, PR - 1996/1997.

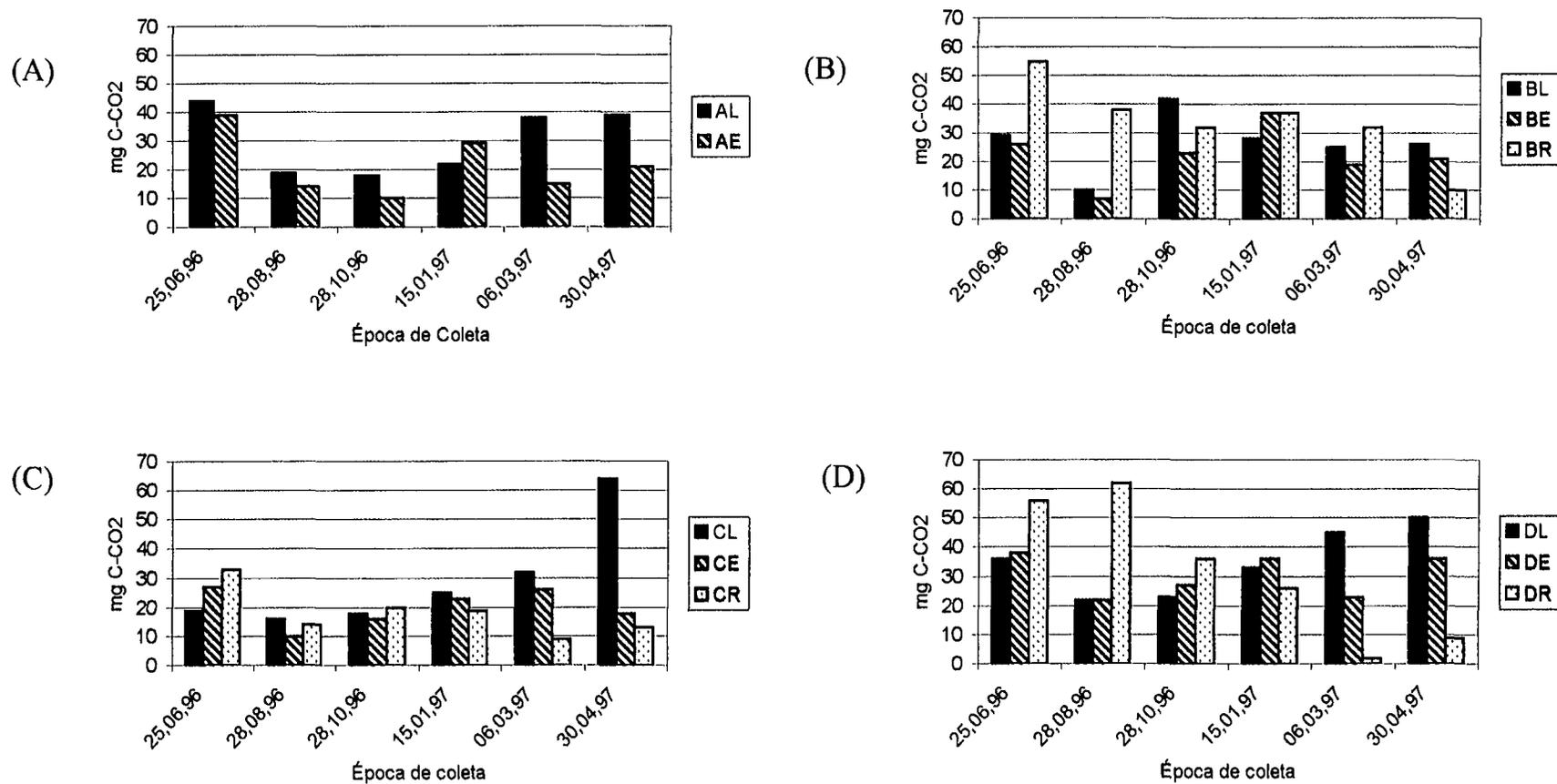
Data	<i>pH</i>			<i>P</i>			<i>C</i>			<i>K</i>			<i>Ca+Mg</i>			<i>Umidade</i>		
	<i>CaCl₂</i>			<i>mg/dm³</i>			<i>g/dm³</i>			<i>Cmolc/dm³</i>			<i>cmolc/dm³</i>			<i>%</i>		
	2.	28.	30.	2.	28.	30.	2.	28.	30.	2.	28.	30.	2.	28.	30.	2.	28.	30.
	Mai	Out	Abr	Mai	Out	Abr	Mai	Out	Abr	Mai	Out	Abr	Mai	Out	Abr	Mai	Out	Abr
AL	4,0	4,1	4,2	2,0	1,0	3,0	29,6	31,7	24,3	0,26	0,34	0,23	2,4	1,7	3,7	31,8	34,8	26,6
AE	4,0	4,1	4,1	2,0	1,0	2,0	28,8	27,2	20,3	0,24	0,18	0,10	2,5	1,2	3,5	30,4	19,3	23,5
BL	3,9	4,1	4,1	1,0	2,0	2,0	28,8	28,8	18,0	0,19	0,21	0,06	1,9	1,3	2,7	28,8	32,6	21,1
BE	3,9	4,1	4,1	1,0	1,0	2,0	22,3	40,4	18,0	0,16	0,19	0,06	1,6	1,5	3,5	28,3	28,1	24,2
BR	3,9	4,2	4,2	1,0	2,0	2,0	29,6	33,3	25,6	0,23	0,28	0,20	2,0	2,4	3,9	28,0	23,5	10,8
CL	3,9	4,2	4,2	1,0	1,0	4,0	23,8	27,2	24,3	0,20	0,29	0,24	2,0	1,7	3,0	24,3	22,2	23,5
CE	3,9	4,2	4,1	1,0	2,0	2,0	22,3	27,2	19,0	0,14	0,25	0,09	1,5	1,4	2,9	27,3	27,4	17,6
CR	3,8	4,1	4,1	1,0	1,0	2,0	25,2	31,0	16,0	0,16	0,20	0,09	1,6	1,2	3,9	27,1	18,9	17,0
DL	4,0	4,2	4,2	1,0	2,0	3,0	24,6	28,0	20,3	0,17	0,37	0,20	2,1	2,5	4,2	33,9	31,9	27,2
DE	4,0	5,0	4,3	1,0	9,0	4,0	24,6	24,6	23,0	0,17	0,25	0,14	2,8	6,4	4,7	30,3	21,2	22,5
DR	4,0	4,6	4,2	1,0	2,0	12,0	28,0	36,4	23,0	0,23	0,26	0,14	2,4	4,1	3,4	29,9	16,7	14,9

Nota-se também uma redução geral da população de bactérias no período do inverno e primavera, onde a precipitação pluvial foi mais baixa (fig. 3), já que as bactérias são muito sensíveis à falta de umidade, o que está de acordo com SILVA FILHO (1984).

4.6.4 Efeito da compactação sobre a respiração microbiana

A figura 6 mostra a flutuação das respirações microbianas acumuladas em cada um dos 11 subtratamentos. Verifica-se que nos subtratamentos de leira (AL, BL, CL e DL) os picos populacionais foram localizados em épocas do ano nas quais a precipitação pluvial foi menor (fig. 3), mas, provavelmente pela presença de uma grande camada de folhas e galhos, fazendo com que houvesse conservação da umidade no solo (tab. 7), permitiu com que a população microbiana do solo tivesse maior atividade. Já nos tratamentos de entre-leiras, onde não existia esta proteção e o solo estava sob influência direta das condições climáticas, o pico das respirações microbianas foi verificado nos meses de janeiro a março, onde as condições climáticas estavam mais favoráveis. Em relação aos subtratamentos submetidos à diferentes níveis de compactação do solo por máquinas, os picos de respiração foram registrados no inverno, quando, além das temperaturas estarem mais baixas, também foi nesta época que foram registrados alguns dos menores índices pluviométricos durante o período do experimento. Nota-se também que apesar das referidas áreas estarem severamente compactadas (tab. 4), a respiração microbiana nestes tratamentos chegou a registrar índices maiores do que nos próprios tratamentos de leiras, onde havia umidade, temperatura e fonte alimentar mais propícios ao seu desenvolvimento. Estes resultados discordam de JENSEN *et al.* (1996) e ROCHETTE *et al.* (1991), que citam que a respiração microbiana do solo como um parâmetro sensível à compactação do solo e que a respiração microbiana do solo tende a diminuir em solos compactados. JENSEN *et al.*(1996) coloca que esta redução pode ser dada pela redução na continuidade dos macroporos,

FIGURA 6 - FLUTUAÇÃO DAS RESPIRAÇÕES MICROBIANAS ACUMULADAS, NA CAMADA DE 0 A 5 CM, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE-ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER+FORWARDER (BL-LEIRA; BE-ENTRE LEIRA E RODADO; BR-RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL-LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DR-RODADO). TELÊMACO BORBA-PR, 1996/1997.



ao que ROCHETTE *et al.* (1991) acrescenta ser devido ao ambiente mais anaeróbico e/ou uma menor difusão de dióxido de carbono para a superfície do solo, com mais poros ocupados por água, na área compactada.

4.7 EFEITO DA COMPACTAÇÃO SOBRE A MESOFAUNA EDÁFICA

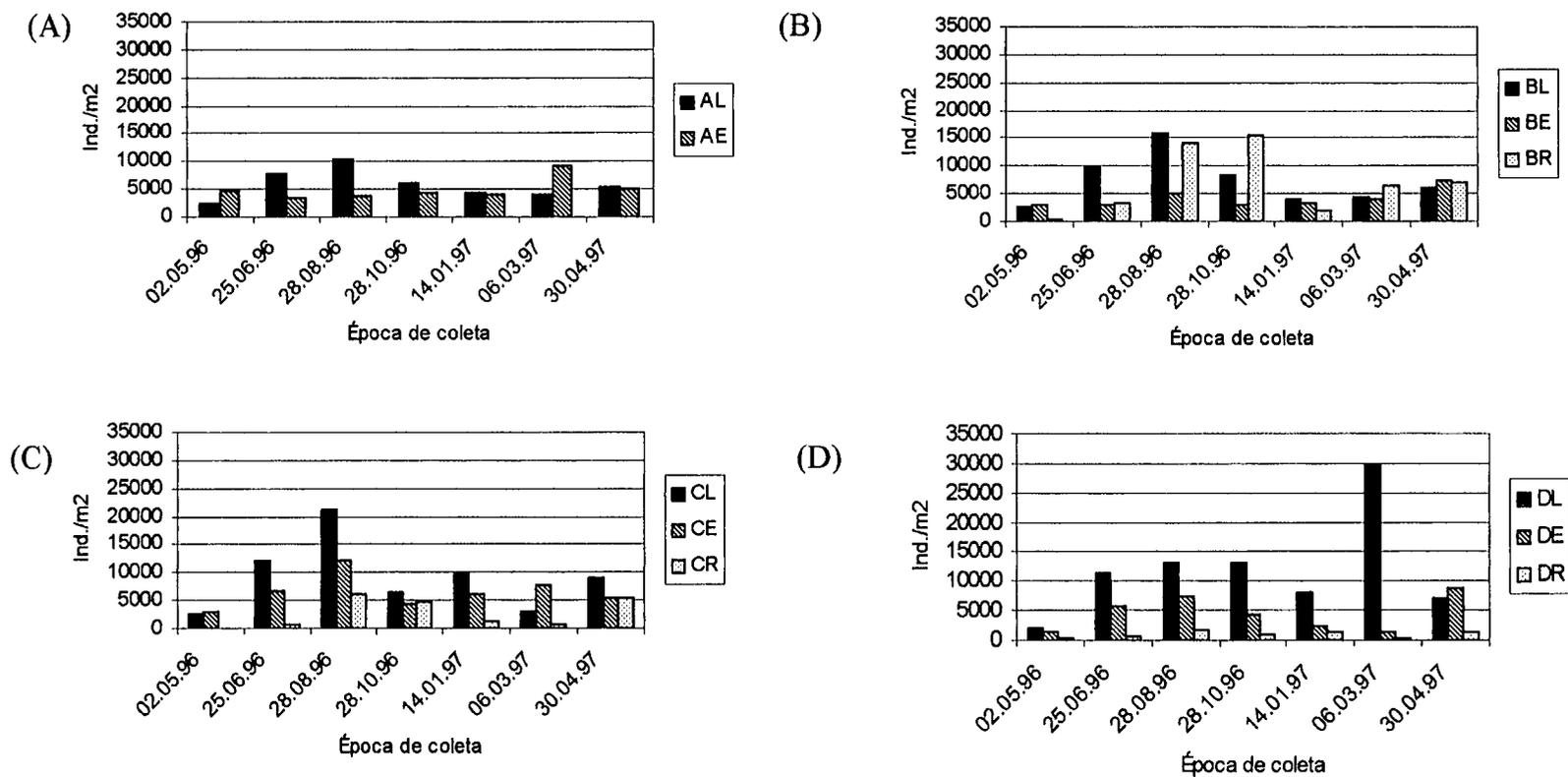
4.7.1 .Collembola

A figura 7 mostra a flutuação da população de Collembola (Insecta) nos tratamentos e seus subtratamentos.

Pode-se observar que os subtratamentos de leiras (AL, BL e CL, com exceção do DL) tiveram os maiores picos populacionais no final do inverno, o que concorda com BZUNECK (1988). A acumulação de folhas e galhos acima da superfície do solo (leira) fez com que a temperatura não diminuísse tanto quanto nos outros tratamentos (tab. 8), ficando em patamares ideais para a população de Collembola e que fosse conservada a umidade no solo (tab. 9), apesar da pouca precipitação nesta época (fig. 3). Outro fator importante que determinou este pico populacional foi o teor de carbono encontrado no solo, que foi mais alto do que nas outras épocas (tab. 10), proporcionando maior disponibilidade de alimento para os Collembola. O subtratamento DL teve o maior pico populacional no final do verão (final do experimento). Provavelmente a população de Collembola neste subtratamento foi prejudicada pela proximidade do subtratamento DR (área mais compactada de todo o experimento), o que pode ter diminuído a quantidade de indivíduos que imigrariam para a leira (DIDDEN, 1987).

Dentre os subtratamentos localizados entre leiras, sem o trânsito de máquinas pesadas, os subtratamentos BE, CE e DE, tiveram um pico populacional no final do inverno, sendo que BE e CE ainda tiveram um pico populacional no outono (final do experimento); e AE teve um pico populacional no final do verão. Se verificarmos as

FIGURA 7 - FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE COLLEMBOLA (INSECTA), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, MÉDIA DE NOVE REPETIÇÕES, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE-ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER+FORWARDER (BL-LEIRA; BE-ENTRE LEIRA E RODADO; BR-RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL-LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DR-RODADO). TELÊMACO BORBA-PR, 1996/1997.



condições de umidade e temperatura podemos novamente notar que foram nestas épocas em as condições de umidade (tab. 9), temperatura (tab. 8) e teores de carbono no solo (tab. 10) estavam em níveis intermediários, proporcionando boas condições de *habitat* e alimentação para os Collembola. Já nos subtratamentos que foram submetidos à diferentes níveis de compactação (BR, CR e DR), as populações foram menores durante todo o período do experimento, notando-se uma pequena tendência à elevação no final do experimento, provavelmente pela recuperação das condições físicas do solo (tab. 4), o que concorda com ARITAJAT *et al.* (1977), HEISLER e KAISER (1995) e USHIWATA *et al.* (1995). O subtratamento BR mostrou o maior pico populacional na primavera, que talvez tenha sido proporcionado pelo alto teor de carbono encontrado neste subtratamento nesta época (o mais alto de todo o experimento) (tab. 10).

TABELA 8 - TEMPERATURA DO SOLO (°C), À 2,5 CM DE PROFUNDIDADE, NAS AMOSTRAS COLETADAS PARA ANÁLISE DA MESOFAUNA EDÁFICA EM CADA UM DOS TRATAMENTOS E SEUS SUBTRATAMENTOS. MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES. A – CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA (AL – LEIRA; AE – ENTRE LEIRAS); B – HARVESTER + FORWARDER (BL – LEIRA; BE – ENTRE LEIRA E RODADO; BR – RODADO); C – SISTEMA CONVENCIONAL (CL – LEIRA; CE – ENTRE LEIRA E RODADO; CR – RODADO); D – STRESS (DL – LEIRA; DE – ENTRE LEIRA E RODADO; DR – RODADO). TELÊMACO BORBA, PR – 1996/1997.

Horário de coleta		2.05.96	25.06.96	28.08.96	28.10.96	14.01.97	06.03.97	30.04.97
12:00 –	AL	19,00	16,33	18,00	20,00	23,67	20,33	14,00
13:00 hs.	AE	22,00	17,33	21,67	25,00	27,33	24,00	13,67
	BL	21,67	16,00	18,33	21,00	23,00	21,67	14,00
11:00 –	BE	20,67	16,67	19,67	24,67	25,67	22,00	14,00
12:00 hs.	BR	22,67	16,00	20,33	23,67	25,67	21,33	12,00
	CL	18,67	15,33	17,33	20,00	22,00	20,00	11,33
10:00 –	CE	20,67	16,00	19,00	22,67	23,33	22,00	11,33
11:00 hs.	CR	23,33	16,67	21,33	25,33	29,00	22,67	11,00
	DL	17,33	14,67	15,67	18,67	21,67	19,33	11,00
9:00 –	DE	18,33	14,67	17,67	20,67	23,00	21,33	11,00
10:00 hs.	DR	21,67	15,33	20,00	22,33	25,00	22,33	10,33

A tabela 11 mostra a densidade populacional média da comunidade de Collembola, coletados nos tratamentos e seus subtratamentos, comparados pelo teste de Duncan a 5%

TABELA 9 - UMIDADE GRAVIMÉTRICA DO SOLO (g/g), DE 0 A 5 CM DE PROFUNDIDADE, NAS AMOSTRAS COLETADAS PARA ANÁLISE DA MESOFAUNA EDÁFICA EM CADA UM DOS TRATAMENTOS E SEUS RESPECTIVOS SUBTRATAMENTOS. MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES. A - CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA (AL - LEIRA; AE - ENTRE LEIRAS); B - HARVESTER + FORWARDER (BL - LEIRA; BE - ENTRE LEIRA E RODADO; BR - RODADO); C - SISTEMA CONVENCIONAL (CL - LEIRA; CE - ENTRE LEIRA E RODADO; CR - RODADO); D - STRESS (DL - LEIRA; DE - ENTRE LEIRA E RODADO; DR - RODADO). TELÊMACO BORBA, PR - 1996/1997.

Horário de coleta		2.05.96	25.06.96	28.08.96	28.10.96	14.01.97	06.03.97	30.04.97
12:00 -	AL	34,67	38,67	33,00	44,00	33,33	29,33	23,67
13:00 hs.	AE	33,33	33,00	28,00	35,00	29,00	21,33	19,67
	BL	31,00	33,67	33,33	47,00	38,00	22,00	19,00
11:00 -	BE	33,33	28,33	30,33	33,67	28,00	20,33	20,00
12:00 hs.	BR	29,00	36,67	28,67	39,00	30,67	27,33	19,33
	CL	34,33	34,00	34,00	46,67	42,67	27,67	24,33
10:00 -	CE	29,00	28,67	30,33	33,67	21,33	18,67	16,00
11:00 hs.	CR	27,33	28,33	20,00	26,33	20,67	17,67	13,67
	DL	31,67	33,67	33,00	37,67	42,00	30,00	24,00
9:00 -	DE	31,00	30,33	25,67	35,33	29,33	23,67	20,33
10:00 hs.	DR	26,00	23,00	13,00	19,67	20,00	11,00	16,33

de probabilidade. Somente na primeira época de coleta não houve diferença estatística entre os subtratamentos. Esta coleta foi realizada dois dias após a colheita da madeira, quando as operações realizadas para proceder-se à colheita e extração da madeira da área do experimento, afetaram toda a área, afetando drasticamente toda a população de Collembola. A recuperação destas comunidades se deu ao longo do período do experimento, quando se encontrou diferenças estatísticas entre os subtratamentos. Em relação à média final das populações de Collembola, pode-se separá-las em três grandes grupos, conforme o seu nível populacional. O primeiro grupo (subtratamentos CL, DL, BL e BR), foram os menos afetados. Nestes

subtratamentos não houve trânsito de máquinas pesadas e houve acumulação de folhas e galhos (com exceção de BR), que auxiliaram na manutenção da temperatura, umidade e fonte alimentar ideais para a população de *Collembola* no solo, anulando, em parte, o efeito direto das variações

TABELA 10 - ALGUMAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO NAS AMOSTRAS COLETADAS PARA ANÁLISE DA MESOFAUNA EDÁFICA, ENTRE 0 E 5 CM DE PROFUNDIDADE, EM CADA UM DOS TRATAMENTOS E SEUS RESPECTIVOS SUBTRATAMENTOS. MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES. A - CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA (AL - LEIRA; AE - ENTRE LEIRAS); B - HARVESTER + FORWARDER (BL - LEIRA; BE - ENTRE LEIRA E RODADO; BR - RODADO); C - SISTEMA CONVENCIONAL (CL - LEIRA; CE - ENTRE LEIRA E RODADO; CR - RODADO); D - STRESS (DL - LEIRA; DE - ENTRE LEIRA E RODADO; DR - RODADO). TELÊMACO BORBA, PR - 1996/1997.

	pH (CaCl ₂)			C (g/dm ³)			P (g/dm ³)		
	2.5.96	28.10.96	30.4.97	2.5.96	28.10.96	30.4.97	2.5.96	28.10.96	30.4.97
AL	4,03	4,03	4,17	24,73	33,83	25,6	1,0	1,67	3,0
AE	4,07	4,07	4,17	26,47	35,47	24,3	2,0	1,67	2,33
BL	4,03	4,1	4,2	25,97	32,6	26,03	1,0	2,0	2,67
BE	3,7	4,0	4,1	23,33	29,0	17,53	1,0	1,0	1,33
BR	4,07	4,13	4,13	31,33	41,57	19,63	1,33	2,0	2,0
CL	4,0	4,13	4,23	27,37	30,03	24,73	2,0	2,0	2,67
CE	4,07	4,1	4,1	24,23	36,17	20,33	1,67	1,33	3,67
CR	4,0	4,07	4,1	27,73	35,47	21,67	1,67	1,33	2,0
DL	4,1	4,2	4,43	28,53	30,33	32,63	2,0	1,67	3,33
DE	4,13	4,23	4,26	24,5	32,57	23,0	1,33	1,33	3,33
DR	4,03	4,2	4,23	27,0	32,5	26,47	1,67	1,0	2,67

climáticas sobre o solo. No subtratamento BR, apesar de ter sido submetido ao trânsito de máquinas pesadas, o sistema *Harvester + Forwarder* permite que as máquinas transitem por sobre a cama de galhos, provocando menor pressão no solo, e permitindo assim que a população de *Collembola* aumente mais rapidamente dos danos provocados inicialmente. O segundo grupo é formado pelos subtratamentos AL,

CE, DE, AE e BE. Nestes subtratamentos (com exceção de AL) as condições ambientais (temperatura e umidade do solo) eram reguladas diretamente pelo clima (temperatura do ar e

TABELA 11 - TOTAL DE COLLEMBOLA (INSECTA) COLETADOS NOS 11 SUBTRATAMENTOS, NA CAMADA DE 0 A 5 CM. MÉDIA DE 9 REPETIÇÕES, EXPRESSA EM NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR M². CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA: LEIRA (AL) E ENTRE LEIRAS (AE); HARVESTER E FORWARDER: LEIRA (BL), LOCAL DE DEPOSIÇÃO DE TRONCOS (BE) E RODADO (BR); SISTEMA CONVENCIONAL: LEIRA (CL), ENTRE LEIRA E RODADO (CE) E RODADO (CR); STRESS: LEIRA (DL), ENTRE LEIRA E RODADO (DE) E RODADO (DR).

	2.05.96	25.06.96	28.08.96	28.10.96	14.01.97	06.03.97	30.04.97	Média
AL	2469,6 A	7849,8 ABC	10319,4 BCDE	5997,6 BCD	4498,2 ABC	3880,8 BCD	5292 AB	5758,2 CDE
AE	4674,6 A	3528 CD	3704,4 EF	4498,2 CD	3880,8 ABC	9172,8 D	5203,8 AB	4951,8 DE
BL	2822,4 A	9613,8 ABC	15699,6 AB	8 290,8 ABC	3880,8 ABC	4233,6 BCD	6174 AB	7245 BC
BE	3175,2 A	2910,6 CD	5027,4 DEF	2998,8 CD	3263,4 ABC	4057,2 BCD	7408,8 AB	4120,2 EF
BR	264,6 A	3351,6 CD	14288,4 ABC	15523,2 A	1852,2 BC	6350,4 BCD	6967,8 AB	6942,6 CD
CL	2822,4 A	12259,8 A	21256,2 A	6526,8 BCD	9613,8 A	3175,2 BCD	9172,8 A	9261 AB
CE	3175,2 A	6703,2A BC	11995,2 BCD	4233,6 CD	5909,4 ABC	7673,4 BC	5468,4 AB	6451 CDE
CR	88,2 A	793,8 D	5997,6 DEF	4762,8 CD	1499,4 C	529,2 D	5292 AB	2709 FG
DL	1852,2 A	11466 AB	13053,6 ABC	12965,4 AB	7938 AB	29458,8 A	7056 AB	11970 A
DE	1499,4 A	5556,6 BCD	7408,8 CDE	4498,2 ABC	2469,6 BC	1499,4 CD	8643,6 AB	4510,8 CDE
DR	35,8 A	617,4 D	1587,6 F	970,2 D	1234,8 C	264,6 D	1411,2 B	919,8 G
Mé dia	2108,8 d	5821,2 bc	10030,7 a	6478,7 b	4185,5 c	6390,5 b	6190 b	

Médias, da mesma coluna, seguidas pela mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade. Médias, da mesma linha, seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

precipitação), já que não havia leira para a manutenção da temperatura e umidade do solo, porém não havia o efeito direto do trânsito de máquinas pesadas sobre a área. Em AL a população de Collembola pode não ter se adaptado às condições oferecidas pelo

subtratamento. E o terceiro grupo é formado por CR e DR. Aqui as condições físicas do solo eram extremamente desfavoráveis ao desenvolvimento dos Collembola (tab. 4). Segundo CHRISTIANSEN (1964) a mesofauna edáfica é altamente sensível à compactação do solo. A queda da população nestas áreas pode ser devido a vários fatores, entre eles:

- (1) a redução das populações edáficas não se deu pela adversidade das condições físicas do solo, mas sim, provavelmente, pelo dano mecânico direto aos animais do solo, pelo trânsito de máquinas na superfície do solo (ARITAJAT *et al.*, 1977);
- (2) a população foi reduzida pela modificação das propriedades físicas do solo (KAISER *et al.*, 1991). Neste trabalho as áreas submetidas ao trânsito das máquinas mostraram uma densidade do solo de 1,35 a 1,40 no início do experimento (dois dias após a passagem das máquinas), muito maior do que nas áreas de leira, onde esta densidade variou de 1,04 a 1,20. O decréscimo da porosidade total do solo (aumento da densidade do solo - compactação) é resultado, principalmente, da redução do volume de poros maiores que 50 μm (MEYER, 1982), aonde habitam os organismos da mesofauna (JOSCHKO, 1990). Como estes organismos conseguem deslocar somente as menores partículas do solo, os seus movimentos ficaram restritos aos espaços porosos existentes e eles morreram (LEE e FOSTER, 1991) ou eles emigraram do solo compactado, para minimizar o risco de danos à sua carapaça de crescimento (DIDDEN, 1987), para as áreas de entre-leiras e leiras.

4.7.2 Oribatei

A influência dos diferentes tratamentos e subtratamentos sobre a população de total de Oribatei, Oribatei Inferior e Oribatei Superior está descrita nas figuras 8 a 10.

Pela figura 8, que mostra a flutuação populacional de Oribatei (Acari) nos tratamentos e seus subtratamentos, nota-se que nos subtratamentos de leiras (AL, BL, CL e DL), houve um rápido aumento da população de Oribatei, após o impacto inicial da implantação do experimento; havendo inclusive um pico populacional nestes subtratamentos, no início do inverno (segunda época de coleta). O mesmo ocorre para

Oribatei Inferior (fig. 9) e Oribatei Superior (fig. 10). Na figura 8 pode-se notar ainda outros picos populacionais para AL e BL na primavera, o que, segundo SINGH e PILLAI (1975) e SAUTTER (1995), pode ser devido ao aumento do teor de carbono destes tratamentos nestas épocas (tab. 10); CL no outono e DL no verão. Nos subtratamentos de entre-leiras, verifica-se que, em AE, temos um pico populacional principal no final do verão; em BE, na primavera; em CE, no verão. Nestes três subtratamentos o aumento da população de Oribatei se dá devido ao aumento da população de Oribatei Superior (fig. 10); e em DE um pico populacional generalizado, que se inicia no final do inverno e vai até o verão. Em DE há uma grande influência dos Oribatei Superior no inverno e na primavera e dos Oribatei Inferior no verão. Nos subtratamentos submetidos ao trânsito de máquinas pesadas, verificamos dois comportamentos diferentes. Em BR encontra-se um pico populacional na primavera, devido ao aumento da população de Oribatei Superior (fig. 10) e uma tendência de aumento da população no final do experimento, devido ao aumento drástico da população de Oribatei Inferior (fig. 9). Já em CR e DR a população de Oribatei (fig. 8), tanto Oribatei Inferior (fig. 9), quanto Oribatei Superior (fig. 10), permaneceu em baixos níveis durante o experimento inteiro. Geralmente os Oribatei têm ciclos longos de vida (TRAVÉ *et al.*, 1996), podendo variar de alguns meses até três anos. Se a população de Oribatei foi fortemente afetada pela compactação causada pelo trânsito de máquinas pesadas, é provável que esta não tenha tido tempo suficiente, dentro do período do experimento, para a sua recuperação, já que, neste período seriam possíveis poucas gerações a partir daqueles indivíduos remanescentes, e assim não aumentado a população de maneira consistente.

FIGURA 8 - FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE ORIBATEI (ACARI), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, MÉDIA DE NOVE REPETIÇÕES, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE-ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER+FORWARDER (BL-LEIRA; BE-ENTRE LEIRA E RODADO; BR-RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL-LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DR-RODADO). TELÊMACO BORBA-PR, 1996/1997.

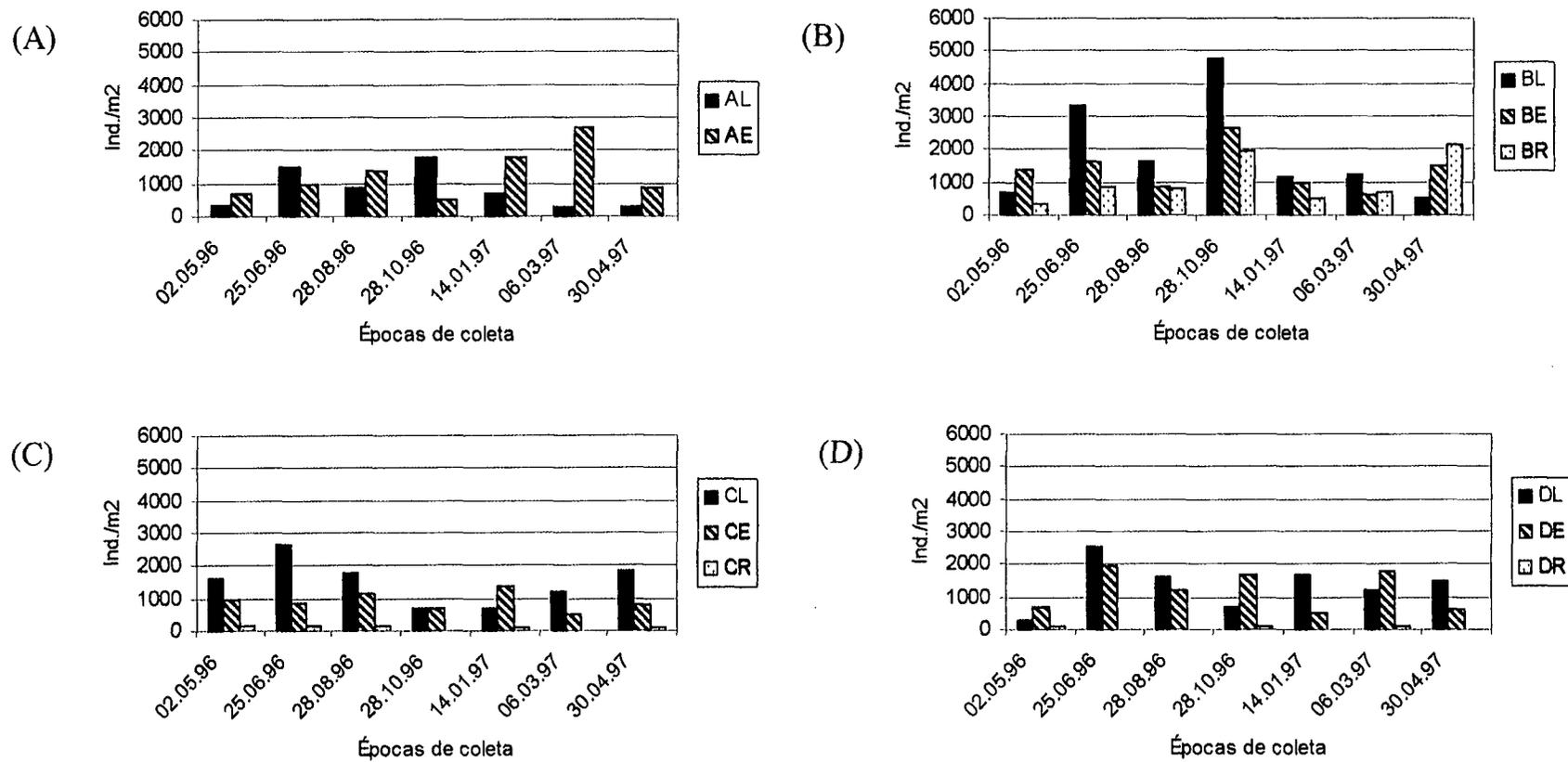


FIGURA 9 - FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE ORIBATEI INFERIOR (ACARI), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, MÉDIA DE NOVE REPETIÇÕES, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE-ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER+FORWARDER (BL-LEIRA; BE-ENTRE LEIRA E RODADO; BR-RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL-LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DR-RODADO). TELÊMACO BORBA-PR, 1996/1997.

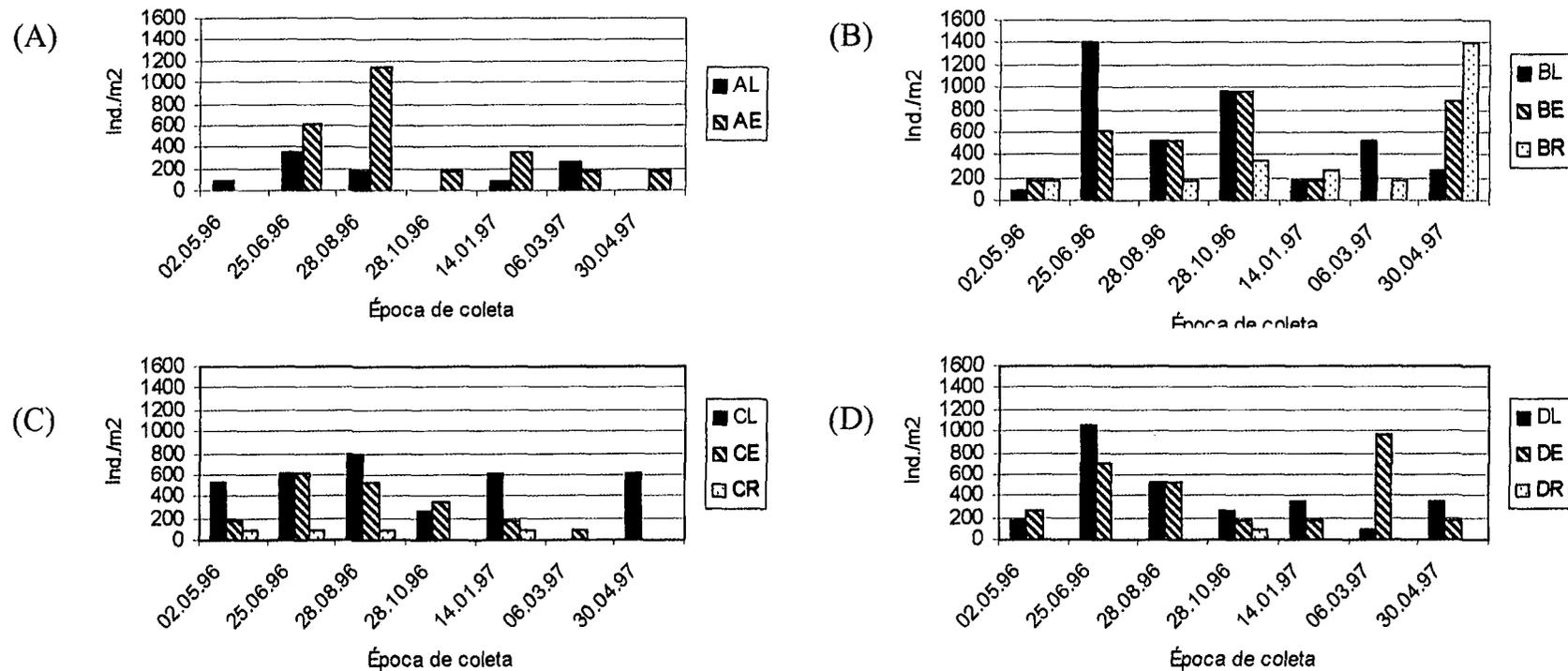
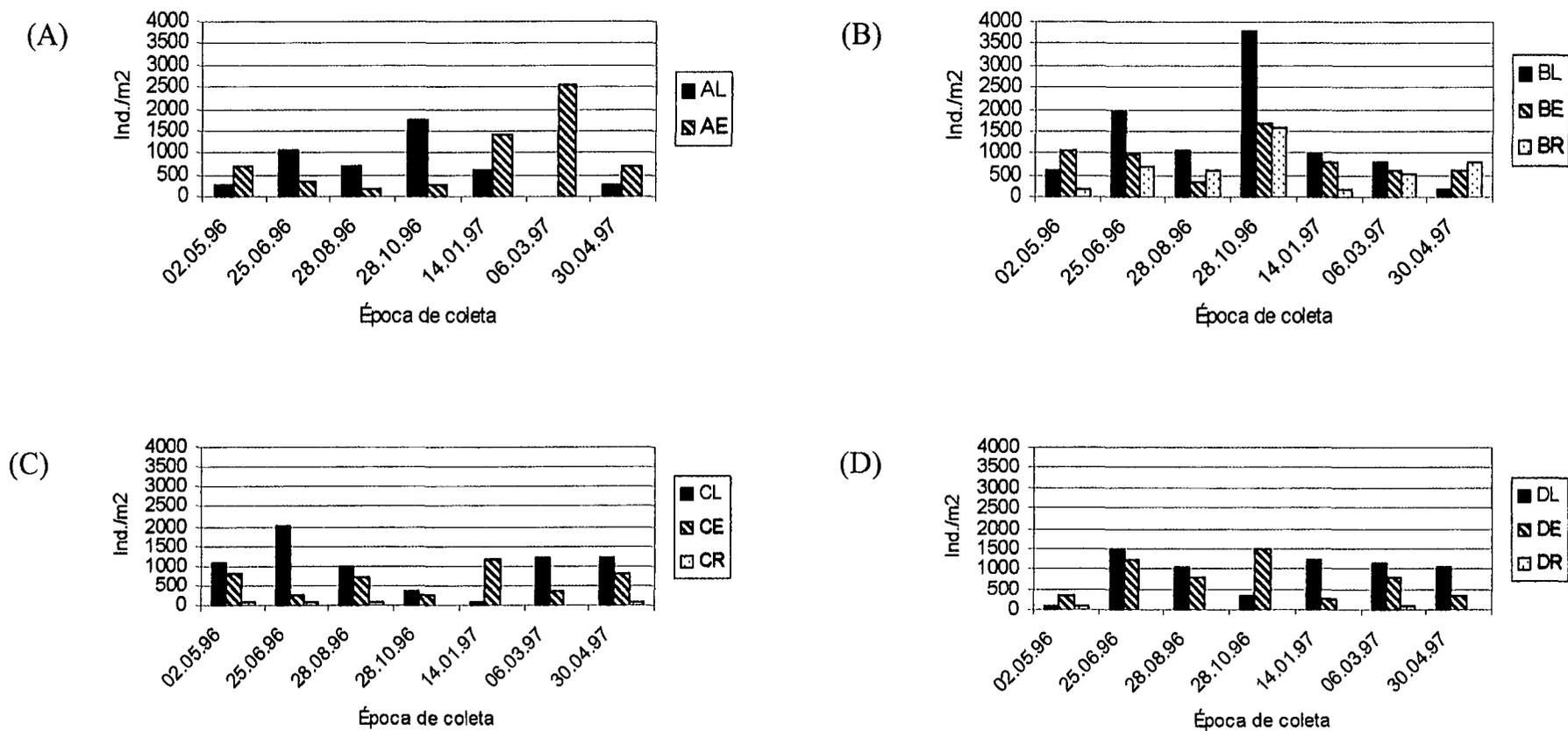


FIGURA 10 - FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE ORIBATEI SUPERIOR (ACARI), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, MÉDIA DE NOVE REPETIÇÕES, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE-ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER+FORWARDER (BL-LEIRA; BE-ENTRE LEIRA E RODADO; BR-RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL-LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DR-RODADO). TELÊMACO BORBA-PR, 1996/1997.



As tabelas 12, 13 e 14 mostram a densidade populacional média das comunidades de Oribatei e suas subdivisões. Verifica-se que, assim como em Collembola, na primeira época de coleta (dois dias após a implantação do experimento e trânsito das máquinas), não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os subtratamentos, o que mostra o impacto de qualquer atividade de origem antropogênica sobre a população de Oribatei. Ao longo do experimento encontrou-se diferenças significativas em quatro épocas para o total de Oribatei, cinco épocas para os Oribatei Inferiores e três épocas para os Oribatei Superiores. Em relação à média final do total de Oribatei, Oribatei Inferiores e Oribatei Superiores encontra-se comportamento semelhante, sendo possível dividir as populações dos 11 subtratamentos em dois grupos distintos. O primeiro grupo formado pelos subtratamentos AL, AE, BL, BE, BR, CL, CE, DE e DL, apesar de serem estatisticamente diferentes, possuem populações semelhantes (variando de 819 a 1804,5 ind./m² para o total de Oribatei; 138,6 a 567 ind./m², para Oribatei Inferiores e 667,8 a 1335,6 ind./m², para Oribatei Superiores). Sendo estas populações muito maiores do que nos subtratamentos CR e DR, que constituem o segundo grupo (37,8 a 100,8 ind./m², para o total de Oribatei, 12,6 a 50,4 ind./m², para os Oribatei Inferiores e 25,2 a 50,4 ind./m² para os Oribatei Superiores). Estes dados são contraditórios em relação aos dados encontrados por diversos autores, que citam que os Oribatei são os representantes da mesofauna edáfica menos afetados pela compactação (HERMOSILLA *et al.*, 1977; ARITAJAT *et al.*, 1977; USHIWATA *et al.*, 1995). ARITAJAT *et al.* (1977) e USHIWATA *et al.* (1995) chegam há citar que a população de Oribatei pode até aumentar quando o solo é compactado, principalmente pelo aumento da população dos Oribatei Inferiores, grupo este de grande resistência fisiológica individual em sobreviver em ambientes altamente modificados; o que não ocorreu na presente pesquisa.

TABELA 12 - TOTAL DE ORIBATEI (ACARI), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, COLETADOS NOS 11 SUBTRATAMENTOS. MÉDIA DE 9 REPETIÇÕES, EXPRESSA EM NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR M². CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA: LEIRA (AL) E ENTRE LEIRAS (AE); HARVESTER E FORWARDER: LEIRA (BL), LOCAL DE DEPOSIÇÃO DE TRONCOS (BE) E RODADO (BR); SISTEMA CONVENCIONAL: LEIRA (CL), ENTRE LEIRA E RODADO (CE) E RODADO (CR); STRESS: LEIRA (DL), ENTRE LEIRA E RODADO (DE) E RODADO (DR).

	2.05.96	25.06.96	28.08.96	28.10.96	14.01.97	06.03.97	30.04.97	Média
AL	352,8 A	1499,4 ABC	882 A	1764 BCD	705,6 A	264,6 B	264,6 AB	819 B
AE	705,6 A	970,2 BC	1411,2 A	529,2 CD	1764 A	2734,2 C	882 AB	1285,2 AB
BL	705,6 A	3351,6 A	1587,6 A	4762,8 A	1146,6 A	1234,8 AB	529,2 AB	1804,5 A
BE	1411,2A	1587,6 ABC	882 A	2646 B	970,2 A	617,4 B	1499,4 AB	1373,4 AB
BR	352,8 A	882 BC	793,8 A	1940,4 BC	529,2 A	705,6 AB	2116,8 A	1045,8 B
CL	1587,6A	2646 AB	1764 A	705,6 CD	705,6 A	1234,8 AB	1852,2 AB	1499,4 AB
CE	970,2A	882 BC	1146,6 A	705,6 CD	1411,2 A	529,2 B	793,8 AB	919,8 B
CR	176,4 A	176,4 C	176,4 A	0 D	88,2 A	0 B	88,2 B	100,8 C
DL	264,6 A	2557,8 AB	1587,6 A	705,6 CD	1675,8 A	1234,8 AB	1499,4 AB	1360,8 AB
DE	705,6 A	1940,4 AB	1234,8 A	1675,8 BCD	529,2 A	1764 AB	617,4 AB	1209,6 AB
DR	88,2 A	0 C	0 A	88,2 CD	0 A	88,2 B	0 B	37,8 C
Média	665,5 c	1499,4 a	1042,4 abc	1411,2 ab	865,9 bc	946,1 bc	922 bc	

Médias, da mesma coluna, seguidas pela mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade. Médias, da mesma linha, seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 13 - TOTAL DE ORIBATEI INFERIOR (ACARI), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, COLETADOS NOS 11 SUBTRATAMENTOS. MÉDIA DE 9 REPETIÇÕES, EXPRESSA EM NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR M². CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA: LEIRA (AL) E ENTRE LEIRAS (AE); HARVESTER E FORWARDER: LEIRA (BL), LOCAL DE DEPOSIÇÃO DE TRONCOS (BE) E RODADO (BR); SISTEMA CONVENCIONAL: LEIRA (CL), ENTRE LEIRA E RODADO (CE) E RODADO (CR); STRESS: LEIRA (DL), ENTRE LEIRA E RODADO (DE) E RODADO (DR).

	02.05.96	25.06.96	28.08.96	28.10.96	14.01.97	06.03.97	30.04.97	Média
AL	88,2 A	352,8 BC	176,4 B	0 C	88,2 A	264,6 AB	0 C	138,6 BC
AE	0 A	617,4 ABC	1146,6 A	176,4 ABC	352,8 A	176,4 AB	176,4 BC	378 AB
BL	88,2 A	1411,2 A	529,2 AB	970,2 AB	176,4 A	529,2 AB	264,60 BC	567 A
BE	176,4 A	617,4 ABC	529,2 AB	970,2 A	176,4 A	0 B	882 AB	478,8 A
BR	176,4 A	0 C	176,4 B	352,8 ABC	264,6 A	176,4 AB	1411,2 A	365,4 AB
CL	529,2 A	617,4 ABC	793,8 AB	264,6 ABC	617,4 A	0 B	617,4 ABC	491,4 A
CE	176,4 A	617,4 ABC	529,2 AB	352,8 ABC	176,4 A	88,2 AB	0 C	289,8 ABC
CR	88,2 A	88,2 C	88,2 B	0 C	88,2 A	0 B	0 C	50,4 C
DL	176,4 A	1058,4 AB	529,2 AB	264,6 ABC	352,8 A	88,2 AB	352,8 BC	403,2 AB
DE	264,6 A	705,6 ABC	529,2 AB	176,4 ABC	176,4 A	970,2 A	176,4 BC	428,4 AB
DR	0 A	0 C	0 B	88,2 BC	0 A	0 B	0 C	12,6 C
Média	160,4 c	553,2 a	457 ab	328,7 abc	224,5 bc	208,5 bc	352,8 abc	

Médias, da mesma coluna, seguidas pela mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade. Médias, da mesma linha, seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 14 - TOTAL DE ORIBATEI SUPERIOR (ACARI), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, COLETADOS NOS 11 SUBTRATAMENTOS. MÉDIA DE 9 REPETIÇÕES, EXPRESSA EM NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR M². CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA: LEIRA (AL) E ENTRE LEIRAS (AE); HARVESTER E FORWARDER: LEIRA (BL), LOCAL DE DEPOSIÇÃO DE TRONCOS (BE) E RODADO (BR); SISTEMA CONVENCIONAL: LEIRA (CL), ENTRE LEIRA E RODADO (CE) E RODADO (CR); STRESS: LEIRA (DL), ENTRE LEIRA E RODADO (DE) E RODADO (DR).

	2.05.96	25.06.96	28.08.96	28.10.96	14.01.97	06.03.97	30.04.97	Média
AL	264,6 A	1058,4 ABC	705,6 A	1764 B	617,4 A	0 B	264,6 A	667,8 B
AE	705,6 A	352,8 BC	176,4 A	264,6 CD	1411,2 A	2557,8 A	705,6 A	882 AB
BL	617,4 A	1940,4 A	1058,4 A	3792,6 A	970,2 A	793,8 B	176,4 A	1335,6 A
BE	1058,4 A	970,2 ABC	352,8 A	1675,8 BC	793,8 A	617,4 B	617,4 A	869,4 AB
BR	176,4 A	705,6 ABC	617,4 A	1587,6 BC	176,4 A	529,2 B	793,8 A	655,2 B
CL	1058,4 A	2028,6 A	970,2 A	352,8 BCD	88,2 A	1234,8 AB	1234,8 A	995,4 AB
CE	793,8 A	264,6 BC	705,6 A	264,6 CD	1146,6 A	352,8 B	793,8 A	617,4 B
CR	88,2 A	88,2 BC	88,2 A	0 D	0 A	0 B	88,2 A	50,4 C
DL	88,2 A	1499,4 AB	1058,4 A	352,8 BCD	1234,8 A	1146,6 AB	1058,4 A	919,8 AB
DE	352,8 A	1234,8 ABC	793,8 A	1499,4 BC	264,6 A	793,8 B	352,8 A	756 AB
DR	88,2 A	0 C	0 A	0 D	0 A	88,2 B	0 A	25,2 C
Média	473,1 c	922,1 ab	665,5 bc	1050,4 a	609,4 bc	737,7 abc	553,2 bc	

Médias, da mesma coluna, seguidas pela mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade. Médias, da mesma linha, seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade

4.7.3 Acari

A figura 11 representa a flutuação populacional de Acari (Arachnida), com exceção dos ácaros Oribatei (fig. 8, 9 e 10).

Ao analisar-se a figura 11, nota-se que todos os subtratamentos têm um pico populacional principal no verão (confirmado pela análise estatística das épocas de coleta – tabela 15), quando a precipitação média mensal foi a maior do período do experimento e a temperatura manteve-se alta. Os Acari (com exceção dos Oribatei) possuem cutículas mais finas, que os deixa vulneráveis à dessecação do corpo, isto pode provocar, conseqüentemente, morte por desidratação. Provavelmente o pico populacional verificado na época do ano onde foi maior a precipitação pluvial, foi influenciado, talvez, pela necessidade de água destes ácaros, aumentando assim a sua densidade populacional.

Na tabela 15 verifica-se a densidade populacional média Acari. Assim como foi visto em Collembola e Oribatei, na primeira época de coleta, logo após a implantação do experimento, não houve diferença estatisticamente significativa entre os subtratamentos, assim como na última época de coleta. Em relação à média final pode-se dividir as populações de Acari em quatro grandes grupos estatisticamente semelhantes. O primeiro grupo é formado pelo subtratamento DL, onde a população foi maior. O segundo grupo é formado por AL, BL, BR, CL, CE, CR e DE. O terceiro grupo é formado por AE e BE. E um quarto grupo formado pelo subtratamento DR. Segundo ARITAJAT *et al.* (1977) a população de Acari (não contando os Oribatei), assim como os Collembola, são muito sensíveis à compactação. HEISLER (1994) cita que, quanto maior a compactação, menor a diversidade de espécies de Acari, sobrevivendo somente aquelas espécies com tamanho corporal pequeno, o que possibilitaria sua locomoção pelos espaços porosos restantes.

FIGURA 11 - FLUTUAÇÃO POPULACIONAL ACARI (ARACHNIDA), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, MÉDIA DE NOVE REPETIÇÕES, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE-ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER+FORWARDER (BL-LEIRA; BE-ENTRE LEIRA E RODADO; BR-RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL-LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DR-RODADO). TELÊMACO BORBA-PR, 1996/1997.

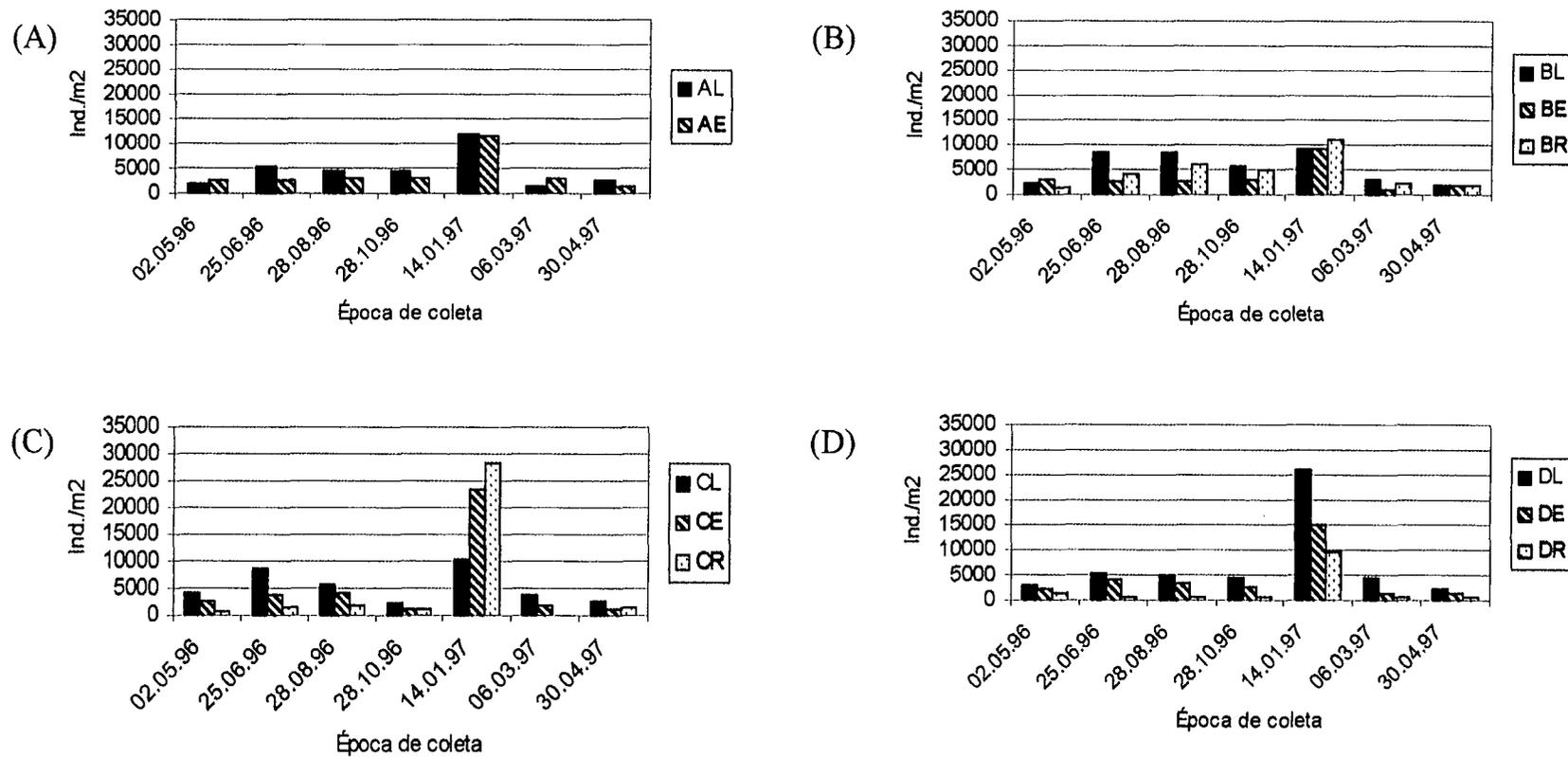


TABELA 15 - TOTAL DE ACARI (ARACHNIDA), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, COLETADOS NOS 11 SUBTRATAMENTOS. MÉDIA DE 9 REPETIÇÕES, EXPRESSA EM NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR M². CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA: LEIRA (AL) E ENTRE LEIRAS (AE); HARVESTER E FORWARDER: LEIRA (BL), LOCAL DE DEPOSIÇÃO DE TRONCOS (BE) E RODADO (BR); SISTEMA CONVENCIONAL: LEIRA (CL), ENTRE LEIRA E RODADO (CE) E RODADO (CR); STRESS: LEIRA (DL), ENTRE LEIRA E RODADO (DE) E RODADO (DR).

	02.05.96	25.06.96	28.08.96	28.10.96	14.01.97	06.03.97	30.04.97	Média
AL	1852,2 A	5468,4 ABC	4586,4 BC	4498,2 AB	12083,4 CD	1675,8 ABC	2646 A	4687,2 BCD
AE	2557,8 A	2646 CDE	3175,2 BCD	3175,2 ABC	11730,6 CD	2998,8 ABC	1675,8 A	3994,2 CD
BL	2381,4 A	8290,8 AB	8555,4 A	5909,4 A	9172,8 D	2910,6 ABC	1764 A	5569,2 AB
BE	2910,6 A	2734,2 CDE	2822,4 BCD	2998,8 ABC	9084,6 D	1146,6 BC	1940,4 A	3376,8 D
BR	1499,4 A	4321,8 CD	6174 AB	4939,2 A	11201,4 CD	2381,4 ABC	1764 A	4611,6 BCD
CL	5145,4 A	8820 A	5909,4 AB	2381,4 ABC	10495,8D	3704,4 AB	2646 A	5443,2 B
CE	2646 A	3704,4 CDE	4145,4 BC	1234,8 BC	23461,2B	1764 ABC	1058,4 A	5430,6 BC
CR	793,8 A	1587,6 DE	1940,4 CD	970,2 C	28576,8A	88,2 C	1587,6 A	5077,8 BCD
DL	2910,6 A	5380,2 BC	4939,2 BC	4498,2 AB	26283,6 AB	4762,8 A	2381,4 A	7308 A
DE	2293,2 A	4057,2 CD	3616,2 BCD	2822,4 ABC	15170,4C	1675,8 ABC	1411,2 A	4435,2 BCD
DR	1499,4 A	793,8 E	793,8 D	793,8 C	9437,4 D	882 BC	617,4 A	2116,8 E
Média	2317,2cd	4345,8 b	4241,6 b	3111 c	15154,4 a	2180,9 d	1772 d	

Médias, da mesma coluna, seguidas pela mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade. Médias, da mesma linha, seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade

4.7.4 Isopoda

A figura 12 representa a flutuação da população de Isopoda (Crustacea).

Ao analisar-se a figura 12, vê-se que na primeira época de coleta foram encontrados pouquíssimos Isopoda e somente nos subtratamentos CE, DL e DE, o que denota a fragilidade dos Isopoda ante à modificações ambientais de origem antropogênica, não importando o nível de impacto, porém com aumento subsequente, principalmente nos subtratamentos de leiras. Nota-se, ainda, que a maior parte dos Isopoda encontrados neste trabalho, foram encontrados nos subtratamentos de leiras (AL, BL, CL e DL), com picos populacionais no verão, onde a umidade e a precipitação pluvial foram maiores (fig. 3). Segundo WALLWORK (1970) entre os vários fatores que podem influenciar a distribuição dos Isopoda, a umidade é de considerável importância, devido ao fato da cutícula dos Isopoda ser, em grande parte, permeável, e, portanto, perder água facilmente. Nos subtratamentos AE, BE, CE e DE verifica-se picos populacionais muito pequenos distribuídos principalmente no inverno e no outono. No subtratamento BR encontrou-se poucos Isopoda distribuídos generalizadamente por todo o período do experimento. Nos subtratamentos CR e DR não foram encontrados Isopoda.

Na tabela 16 verifica-se a densidade média dos Isopoda coletados nos 11 subtratamentos. Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os subtratamentos somente na primeira época de coleta, demonstrando a sua fragilidade ante modificações ambientais. Em relação à média final temos cinco grupos semelhantes estatisticamente. O primeiro grupo é formado por DL, onde a leira fornece principalmente condições de umidade e alimentação, o que concorda com SUTTON (1972), que constatou que os Isopoda alimentam-se primariamente de material vegetal morto. Segundo CURRY (1994) os Isopoda, se abundantes, podem estar entre os principais invertebrados decompositores no solo. SOUSA (2000, comunicação pessoal) demonstrou que, em reflorestamentos de *Eucalyptus* sp., em Portugal, os Isopoda têm grande

FIGURA 12 - FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE ISOPODA (CRUSTACEA), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, MÉDIA DE NOVE REPETIÇÕES, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE-ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER+FORWARDER (BL-LEIRA; BE-ENTRE LEIRA E RODADO; BR-RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL-LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DR-RODADO). TELÊMACO BORBA-PR, 1996/1997.

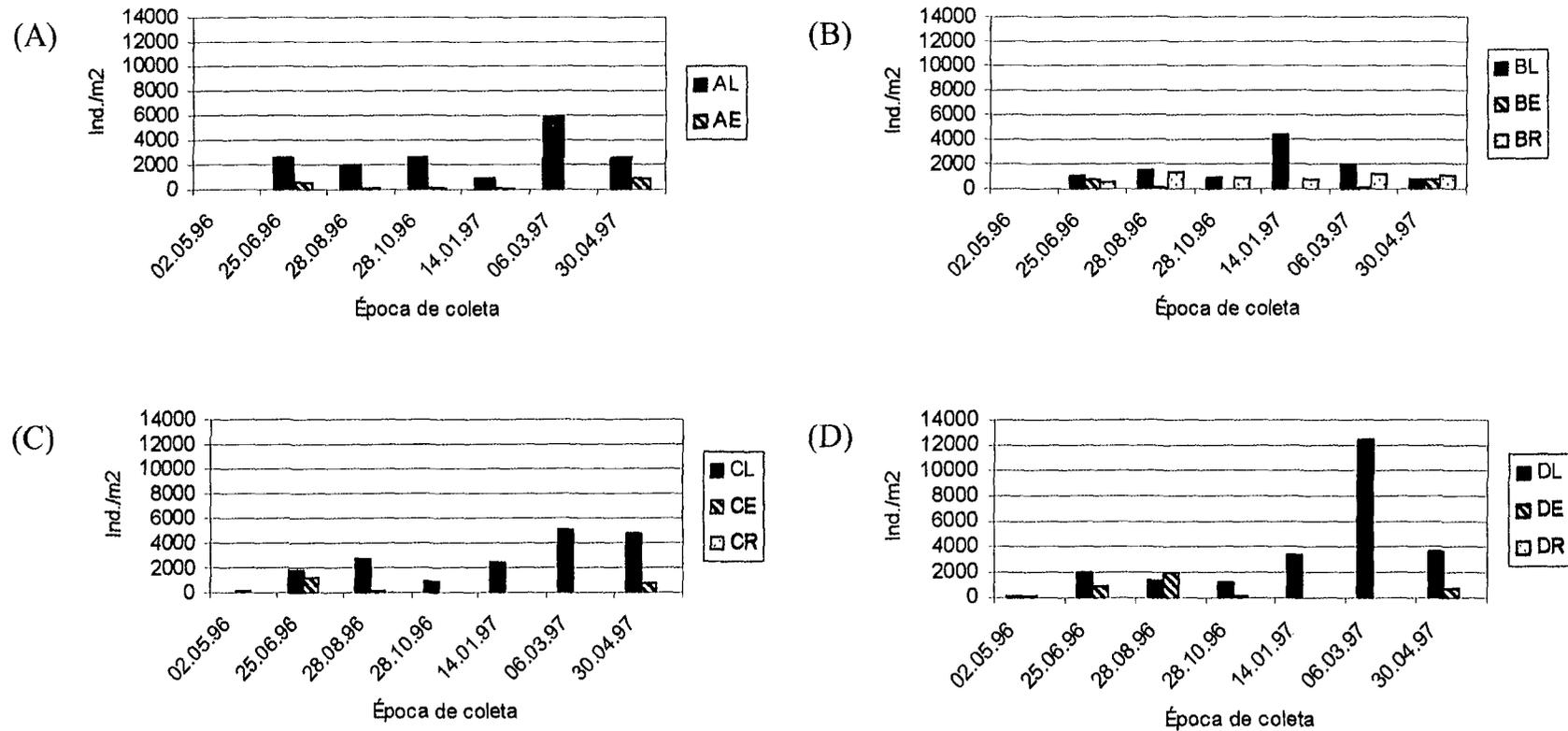


TABELA 16 - TOTAL DE ISOPODA (CRUSTACEA), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, COLETADOS NOS 11 SUBTRATAMENTOS. MÉDIA DE 9 REPETIÇÕES, EXPRESSA EM NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR M². CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA: LEIRA (AL) E ENTRE LEIRAS (AE); HARVESTER E FORWARDER: LEIRA (BL), LOCAL DE DEPOSIÇÃO DE TRONCOS (BE) E RODADO (BR); SISTEMA CONVENCIONAL: LEIRA (CL), ENTRE LEIRA E RODADO (CE) E RODADO (CR); STRESS: LEIRA (DL), ENTRE LEIRA E RODADO (DE) E RODADO (DR).

	02.05.96	25.06.96	28.08.96	28.10.96	14.01.97	06.03.97	30.04.97	Média
AL	0 A	2646 A	2028,6 A	2646 A	882 B	5821,2 B	2646 BC	2381,4 B
AE	0 A	617,4 BC	88,2 B	88,2 B	88,2 B	0 D	882 D	252 DE
BL	0 A	1146,6 ABC	1499,4 AB	970,2 AB	4410 A	1940,4 C	793,8 D	1537,2 C
BE	0 A	793,8 ABC	88,2 B	0 B	0 B	88,2 D	705,6 D	239,4 DE
BR	0 A	617,4 BC	1411,2 AB	882 B	793,8 B	1234,8 CD	1146,6 CD	869,4 D
CL	0 A	1852,2 AB	2734,2 A	882 B	2469,6 A	5115,6 B	4762,8 A	2545,2 B
CE	88,2 A	1234,8 ABC	176,4 B	0 B	0 B	0 D	793,8 D	327,6 DE
CR	0 A	0 C	0 B	0 B	0 B	0 D	0 D	0 E
DL	88,2 A	1940,4 AB	1411,2 AB	1234,6 AB	3439,8 A	12436,2 A	3616,2 AB	3452,4 A
DE	176,4 A	882 ABC	2028,6 A	88,2 B	0 B	0 D	793,8 D	567 DE
DR	0 A	0 C	0 B	0 B	0 B	0 D	0 D	0 E
Média	32,1 d	1066,4 bc	1042,4 bc	617,4 c	1098,5 bc	2421,5 a	1467,3 b	

Médias, da mesma coluna, seguidas pela mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade. Médias, da mesma linha, seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade

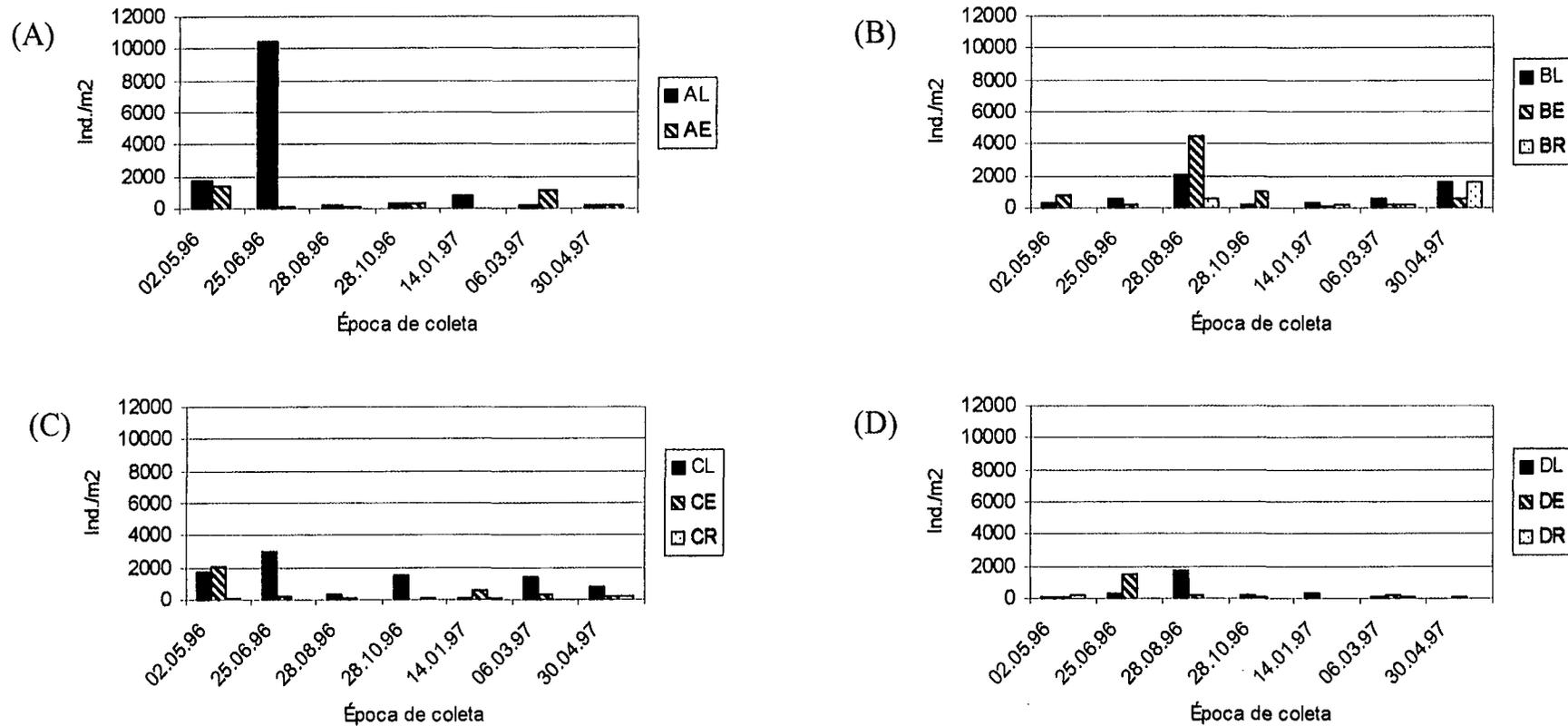
importância para a ciclagem de nutrientes do solo, através da decomposição primária da matéria orgânica. O que ficou comprovado neste trabalho, já que a maior densidade média de Isopoda foi no subtratamento DL (12436 ind./m²), em março de 1997 e foi exatamente neste subtratamento o único aumento do teor de carbono no solo ocorrido da metade para o final do experimento (30,33 para 32,63 g/dm³) (tab. 10), o que comprova a ação dos Isopoda como grandes decompositores primários de matéria orgânica, liberando nutrientes para o solo. O segundo grupo é formado por AL e CL; o terceiro, por BL; o quarto por AE, BE, BR, CE e DE; e o quinto grupo é formado pelos subtratamentos CR e DR, onde não foram encontrados Isopoda.

4.7.5 Formicidae

A figura 13 representa a flutuação populacional de Formicidae (Insecta).

Analisando-se a figura 13, nota-se que no subtratamento AL, a comunidade de formigas teve um pico populacional no inverno, em BL, na primavera e outro no outono, em CL, teve um pico populacional principal no inverno e dois secundários na primavera e verão e em DL, a população de formigas teve um pico populacional na primavera. Nos subtratamentos de entre-leiras foram constatados, para AE, um pico populacional no outono e outro no final do verão, para BE um pico populacional na primavera, para CE, no outono e para DE no inverno. Nos subtratamentos submetidos ao trânsito de máquinas a população foi muito baixa, podendo-se definir claramente somente um pico populacional para BR no outono. Segundo WALLWORK (1970) flutuações extremas no tamanho das populações são certamente incomuns para insetos sociais como as formigas, porém como elas possuem uma alta capacidade de deslocamento entre diferentes áreas, é possível que os picos populacionais em épocas diferentes, dentre os subtratamentos, sejam devido ao deslocamento de uma área para outro dentro do experimento, à procura de melhores condições ambientais e maior disponibilidade de alimento, durante o período do experimento.

FIGURA 13 - FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE FORMICIDAE (INSECTA), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, MÉDIA DE NOVE REPETIÇÕES, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE-ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER+FORWARDER (BL-LEIRA; BE-ENTRE LEIRA E RODADO; BR-RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL-LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DR-RODADO). TELÊMACO BORBA-PR, 1996/1997.



Na tabela 17 verifica-se a densidade média dos Formicidae coletados nos 11 subtratamentos. Em cinco das sete épocas de coleta não foram constatadas diferenças estatisticamente significativas entre os subtratamentos. Em relação à média final, podemos dividir os subtratamentos em dois grupos por semelhança estatística: o primeiro grupo formado AL, AE, BL, BE, BR, CL, CE, DL e DE; e um segundo grupo

TABELA 17 - TOTAL DE FORMICIDAE (INSECTA), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, COLETADOS NOS 11 SUBTRATAMENTOS. MÉDIA DE 9 REPETIÇÕES, EXPRESSA EM NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR M². CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA: LEIRA (AL) E ENTRE LEIRAS (AE); HARVESTER E FORWARDER: LEIRA (BL), LOCAL DE DEPOSIÇÃO DE TRONCOS (BE) E RODADO (BR); SISTEMA CONVENCIONAL: LEIRA (CL), ENTRE LEIRA E RODADO (CE) E RODADO (CR); STRESS: LEIRA (DL), ENTRE LEIRA E RODADO (DE) E RODADO (DR).

	02.05.96	25.06.96	28.08.96	28.10.96	14.01.97	06.03.97	30.04.97	Média
AL	1675.8 A	10495.8 A	264.6 B	352.8 A	793.8 A	264.6 A	176.4 A	2003,4 A
AE	1411.2 A	88.2 B	88.2 B	352.8 A	0 A	1146.6 A	264.6 A	478,8 AB
BL	352.8 A	617.4 B	2028.6 AB	176.4 A	352.8 A	617.4 A	1587.6 A	819 AB
BE	793.8 A	176.4 B	4498.2 A	1058.4 A	88.2 A	176.4 A	617.4 A	1058,4 AB
BR	0 A	0 B	529.2 B	0 A	176.4 A	176.4 A	1587.6 A	361,8 AB
CL	1764 A	2998.8 B	352.8 B	1499.4 A	88.2 A	1411.2 A	793.8 A	1272,6A
CE	2116.8 A	264.6 B	88.2 B	0 A	529.2 A	352.8 A	176.4 A	504 AB
CR	88.2 A	0 B	0 B	88.2 A	88.2 A	0 A	264.6 A	75,6 B
DL	88.2 A	352.8 B	1764 AB	176.4 A	352.8 A	88.2 A	0 A	403,2 AB
DE	88.2 A	1499.4 B	176.4 B	88.2 A	0 A	176.4 A	88.2 A	302,4 AB
DR	176.4 A	0 B	0 B	0 A	0 A	88.2 A	0 A	37,8 B
Média	777,8 A	1499,4 A	890 A	344,8 A	224,5 A	408,9 A	505,1 A	

Médias, da mesma coluna, seguidas pela mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade. Médias, da mesma linha, seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade

formado por CR e DR. Segundo CURRY (1994) as formigas são basicamente onívoras, com uma vasta escolha de alimentos e hábitos alimentares e têm uma grande capacidade de colonizar áreas inóspitas. Apesar destas características, no presente

trabalho as formigas não foram capazes de colonizar as áreas mais atingidas pela compactação (CR e DR), principalmente devido à alta densidade do solo (tab. 4).

4.7.6 Psocoptera

A figura 14 mostra a flutuação populacional de Psocoptera (Insecta) nos 11 subtratamentos. Como se pode ver, a população de Psocoptera restringiu-se a baixas densidades, com poucos picos populacionais. Os subtratamentos AL, AE, BL, BE, BR, DL e DE tiveram picos populacionais acentuados no verão. O subtratamento DR teve um pequeno pico populacional no outono (final do período do experimento), e os tratamentos CL, CE e CR tiveram seus picos populacionais no outono (início do experimento), provavelmente sendo esta área colonizada rapidamente por formas aladas de Psocoptera. Segundo KÜHNELT (1976) os Psocoptera têm grande capacidade de colonizar liteira seca ou estágios iniciais de formação de solo. Esta capacidade provavelmente explica o porquê desta rápida colonização no tratamento Convencional.

A tabela 18 mostra as densidades médias da comunidade de Psocoptera. Em cinco das sete épocas de coleta não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os subtratamentos. Em relação às médias finais, podemos dividir os Psocoptera em dois grandes grupos, conforme sua semelhança estatística. No primeiro estão os subtratamentos CL, CE, CR e DL. No segundo grupo, estão: AL, AE, BL, BE, BR, DE e DR.

FIGURA 14 - FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE PSOCOPTERA (INSECTA), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, MÉDIA DE NOVE REPETIÇÕES, NOS SUBTRATAMENTOS DO TRATAMENTO MANUAL (AL-LEIRA; AE-ENTRE LEIRAS); DO TRATAMENTO HARVESTER+FORWARDER (BL-LEIRA; BE-ENTRE LEIRA E RODADO; BR-RODADO); DO TRATAMENTO CONVENCIONAL (CL-LEIRA; CE-ENTRE LEIRA E RODADO; CR-RODADO); E DO TRATAMENTO DE STRESS (DL-LEIRA; DE-ENTRE LEIRA E RODADO; DR-RODADO). TELÊMACO BORBA-PR, 1996/1997.

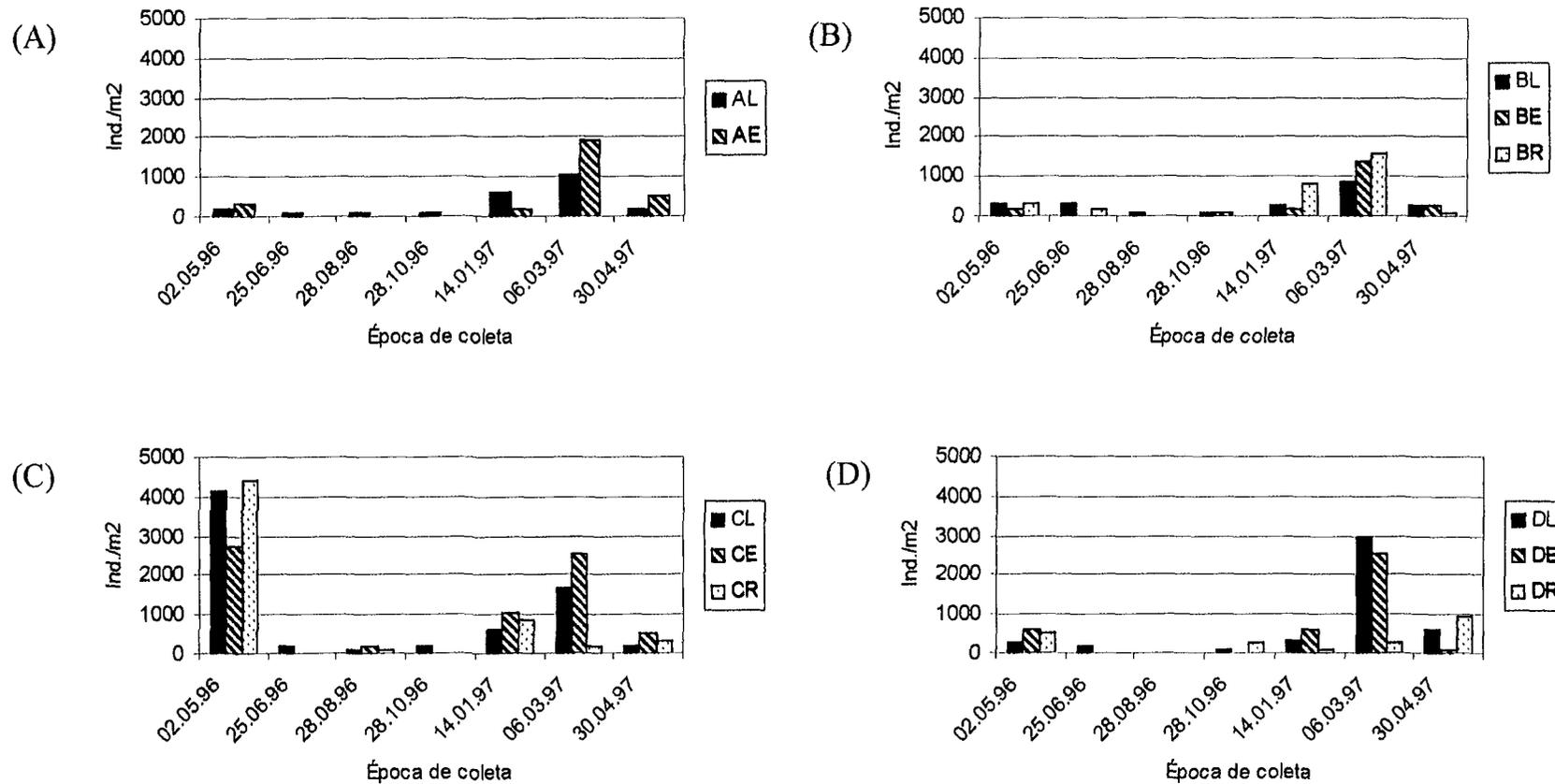


TABELA 18 - TOTAL DE PSOCOPTERA (INSECTA), NA CAMADA DE 0 A 5 CM, COLETADOS NOS 11 SUBTRATAMENTOS. MÉDIA DE 9 REPETIÇÕES, EXPRESSA EM NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR M². CORTE E EXTRAÇÃO MANUAL DA MADEIRA: LEIRA (AL) E ENTRE LEIRAS (AE); HARVESTER E FORWARDER: LEIRA (BL), LOCAL DE DEPOSIÇÃO DE TRONCOS (BE) E RODADO (BR); SISTEMA CONVENCIONAL: LEIRA (CL), ENTRE LEIRA E RODADO (CE) E RODADO (CR); STRESS: LEIRA (DL), ENTRE LEIRA E RODADO (DE) E RODADO (DR).

	02.05.96	25.06.96	28.08.96	28.10.96	14.01.97	06.03.97	30.04.97	Média
AL	176.4 C	88.2 A	88.2 A	88.2 A	617.4 A	1058.4	176.4 A	327,6 C
AE	352.8 C	0 A	0 A	0 A	176.4 A	1940.4	529.2 A	428,4 BC
BL	352.8 C	352.8 A	88.2 A	88.2 A	264.6 A	882 CDE	264.6 A	327,6 C
BE	176.4 C	0 A	0 A	88.2 A	176.4 A	1411.2	264.6 A	302,4 C
BR	352.8 C	176.4 A	0 A	0 A	793.8 A	1587.6	88.2 A	428,4 BC
CL	4145.4 A	176.4 A	88.2 A	176.4 A	617.4 A	1675.8	176.4 A	1008 A
CE	2734.2 B	0 A	176.4 A	0 A	1058.4 A	2557.8	529.2 A	1008 A
CR	4410 A	0 A	88.2 A	0 A	882 A	176.4 E	352.8 A	844,2 AB
DL	264.6 C	176.4 A	0 A	88.2 A	352.8 A	2998.8 A	617.4 A	642,6 ABC
DE	617.4 C	0 A	0 A	0 A	617.4 A	2557.8	88.2 A	554,4 BC
DR	529.2 C	0 A	0 A	264.6 A	88.2 A	264.6 DE	970.2 A	302,4 C
Média	1282,9 a	88,2 cd	48,1 d	72,2 dc	513,2 b	1555,5 a	368,8 bc	

Médias, da mesma coluna, seguidas pela mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade. Médias, da mesma linha, seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade

4.8 DENSIDADES POPULACIONAIS MÉDIAS FINAIS DOS ORGANISMOS DO SOLO, SEGUNDO OS TRATAMENTOS

A tabela 19 mostra a densidade populacional média final de todos os organismos do solo estudados aqui, segundo o tratamento.

TABELA 19 - DENSIDADES POPULACIONAIS MÉDIAS FINAIS DOS ORGANISMOS DO SOLO, NA CAMADA DE 0 A 5 CM DE PROFUNDIDADE. TELÊMACO BORBA, PR, 1996/1997.

Tratamento	Bactérias*	Fungos	Respiração do solo*	Collembola	Oribatei	Acari	Isopoda	Formi- cidae	Psocop- tera
	UFC x 1000/g.s.s.	UFC x 100/g.s.s.	mg C-CO ₂	Ind./m ²					
Manual	85,08 ab	61,88 a	22,94 bc	5009,7 b	1181,8 a	4092,4 a	635,0 a	758,5 a	405,7 a
Harvester + Forwarder	86,33 ab	39,31 a	30,63 ab	5953,5 ab	1481,7 a	4524,6 a	873,1 a	793,8 a	343,9 a
Convencional	60,44 b	51,47 a	21,64 c	7602,8 a	873,1 a	5406,6 a	749,7 a	590,9 a	961,3 a
Stress	96,16 a	40,85 a	35,21 a	6279,8 ab	1058,4 a	5759,4 a	970,2 a	255,7 a	458,6 a

Médias da mesma coluna, seguidas pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

* Estes parâmetros foram primeiramente transformados em raiz quadrada de $x + 0,5$

Pela tabela 19 nota-se que a população média final de bactérias foi estatisticamente maior no tratamento *Stress*, seguido, por pouca diferença, pelo tratamento Manual e *Harvester+Forwarder*, e, em um segundo grupo, pelo tratamento Convencional. Este resultado pode ser devido à grande população de bactérias encontrada nos três subtratamentos de *Stress*, na primeira época de coleta; elevando, assim, a média final da população de bactérias, neste tratamento.

Em relação à população de fungos, verifica-se que não há diferença significativa entre os tratamentos. Porém a maior população média final foi encontrada no tratamento Manual; seguido pelo tratamento Convencional, *Stress* e *Harvester + Forwarder*.

A análise estatística mostrou diferença significativa entre os tratamentos segundo respiração média final do solo. A maior atividade encontrou-se no tratamento *Stress*, seguido pelo *Harvester + Forwarder*, Manual e Convencional.

A população média final de Collembola foi estatisticamente maior no tratamento Convencional, seguido próximo pelos tratamentos *Stress* e pelo *Harvester + Forwarder* e, num segundo plano, pelo tratamento Manual. Na tabela 11 vê-se que o fato que elevou a média populacional final de Collembola no tratamento Convencional foi o grande aumento repentino da população em CL no final do inverno de 1996. Nota-se que, apesar da média final ser mais alta no tratamento Convencional, houve uma melhor distribuição da população de Collembola, entre os subtratamentos, no tratamento *Harvester + Forwarder*.

Não houve diferença estatística entre os tratamentos em relação à média final da população de Oribatei. Apesar deste fato, numericamente, a população média final de Oribatei foi maior no tratamento *Harvester + Forwarder*, seguido dos tratamentos Manual e *Stress*, e, em um segundo plano, do tratamento Convencional.

Também em relação aos Acari não se encontrou diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos, sendo as populações muito próximas entre si.

Verifica-se que as populações de Isopoda não diferiram estatisticamente entre si, porém nota-se que a população média final de Isopoda foi maior no tratamento *Stress*, seguido pelo tratamento *Harvester + Forwarder*, Convencional e Manual. Este é um caso semelhante ao ocorrido com os Collembola. Pela tabela 16 vê-se que o aumento repentino da população de Isopoda em DL no final do verão de 1997, elevou a média final destes organismos no tratamento *Stress*. Porém pode-se notar que o rodado neste tratamento (DR) não apresentou nenhum indivíduo durante todo o período do experimento. Já o tratamento *Harvester + Forwarder*, apesar de ter tido uma população média final menor, teve a sua população melhor distribuída por todos os subtratamentos, beneficiando assim toda a área do sistema *Harvester + Forwarder*.

Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas para a população de Formicidae entre os tratamentos realizados. Todavia, verifica-se que a população média final de Formicidae foi maior no tratamento *Harvester + Forwarder*,

seguido pelos tratamentos Manual e Convencional, e, em um terceiro plano, do tratamento *Stress*.

Apesar de não terem sido encontradas diferenças significativas entre os tratamentos, a população média final de Psocoptera foi maior no tratamento Convencional, o que pode ser creditado à grande população de Psocoptera encontrada nos seus três subtratamentos no início do experimento (maio de 1996). Em um segundo grupo encontram-se os tratamentos *Stress*, Manual e *Harvester + Forwarder*.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho e nas condições em que esta pesquisa foi realizada, foram possíveis as seguintes conclusões:

- 1) Entre os subtratamento onde passou o rodado das máquinas, a maior área trafegada, foi no sistema *Harvester + Forwarder*, com 22,7%, seguido pelo sistema *Stress*, com 19,4% e pelo sistema Convencional, com 17,6%;
- 2) O tratamento *Harvester + Forwarder* foi o que apresentou menor densidade aparente do solo, na área de rodado das máquinas, e foi o que melhor se recuperou ao longo do período do experimento, na camada de 0 a 5 cm de profundidade;
- 3) No início do experimento, o tratamento Convencional foi o que apresentou maior porosidade total do solo, na área de rodado das máquinas; porém o tratamento que melhor se recuperou ao longo de um ano, na camada de 0 a 5 cm de profundidade, foi o *Harvester + Forwarder*;
- 4) Os subtratamentos que apresentaram menor rebrota das cepas (em altura e diâmetro) do *Eucalyptus grandis*, após o corte e antes da desbrota, foram as áreas de rodado, no sistema Convencional e *stress*;
- 5) A compactação do solo diminuiu a população das bactérias e fungos do solo, em relação às áreas onde havia acumulação de galhos e folhas (leiras);
- 6) Entre as áreas potencialmente submetidas à compactação, a menor população de fungos, durante o ano, foi constatada no tratamento de *Harvester + Forwarder*, e a menor população de bactérias e a menor respiração do solo, durante o ano, foram constatadas no tratamento convencional;

- 7) A população de fungos foi baixa no início do experimento, principalmente nos subtratamentos potencialmente submetidos à compactação do solo, porém foi aumentando ao longo do tempo;
- 8) A população de bactérias foi alta no início do experimento, principalmente nos subtratamentos potencialmente submetidos à compactação do solo;
- 9) Verificou-se uma grande diminuição na população de bactérias, em todos os tratamentos, no inverno e primavera, onde a precipitação pluvial foi mais baixa;
- 10) Entre os grupos de artrópodos do solo mais encontrados neste trabalho, destacaram-se: Collembola, Oribatei, Acari, Isopoda, Formicidae e Psocoptera;
- 11) Os grupos com maior densidade populacional ao longo do experimento foram os Collembola, seguidos pelos Acari;
- 12) Todos os artrópodos edáficos estudados neste trabalho foram afetados de maneira drástica com a implantação do experimento, não importando o nível de compactação;
- 13) O aumento populacional dos artrópodos do solo se deu ao longo do experimento, acompanhando a recuperação das propriedades físicas do solo, nos primeiros 5 cm, porém muito dependente das condições climáticas da área;
- 14) As populações de Collembola, Oribatei, Acari e Isopoda foram mais numerosas nos subtratamentos onde não houve o trânsito de máquinas pesadas e havia acumulação de folhas e galhos, proporcionando manutenção da temperatura e umidade do solo, bem como fonte alimentar;

- 15) Não foram encontrados Isopoda nos subtratamentos de Rodado, nos tratamentos Convencional e *Stress*;
- 16) A população média final de bactérias e a respiração do solo foram estatisticamente maiores no tratamento *Stress*, seguido pelo tratamento *Harvester + Forwarder*, Manual, e Convencional. A população de Collembola foi estatisticamente maior no tratamento Convencional, seguido pelo tratamento *Harvester+Forwarder*, *Stress* e, num segundo plano, pelo tratamento Manual. Não houve diferença estatística entre os tratamentos em relação à população de Fungos, Oribatei, Acari, Isopoda, Formicidae e Psocoptera.

6 RECOMENDAÇÕES

Devido à grande diversidade de espécies em cada um dos grupos de organismos que habitam o solo, bem como as diferentes relações destas espécies com o meio ambiente, recomenda-se que outros trabalhos sejam realizados, visando o estudo das relações destas espécies com a disponibilidade de oxigênio nas áreas compactadas, com o tamanho e distribuição dos poros do solo e com outros fatores abióticos (temperatura, umidade, granulometria, teor de carbono, pH, etc...); bem como seja feito um número maior de repetições por tratamento estudado.

REFERÊNCIAS

- ABDULHADI, R.; KARTAVINATA, K.; SUKARDJO, S. Effects of mechanized logging in the lowland dipterocarp forest at Lempake, East Kalimantan. **Malay. For.**, Serdang, v.44, p.407-418, 1981.
- ADDISON, J.A.; PARKINSON, D. Influence of collembolan feeding activities on soil metabolism at a high arctic site. **Oikos**, Copenhagen, v.30, p.529-538, 1978.
- ADUR, A.F. **Comportamento de um latossolo vermelho-escuro, textura argilosa, quando submetido a diferentes energias de compactação**. Curitiba: 1990. 86 f. Dissertação (Mestrado em Solos) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- AL-ASSIUTY, A.I.M.; BAYOUMI, B.M.; KHALIL, M.A.; VAN STRAALLEN, N.M. The influence of vegetational type on seasonal abundance and species composition of soil fauna at different localities in Egypt. **Pedobiologia**, Jena, v.37, n.4, p.210-222, 1993.
- ANÔNIMO. **Umweltprobleme der Landwirtschaft**. Rat von Sachverständigen für Umweltfragen – Sondergutachten. Kohlhammer: Stuttgart, 1985.
- ARITAJAT, U.; MADGE, D.S.; GOODERHAM, P.T. The effects of compaction of agricultural soil on soil fauna. 1. Field investigations. **Pedobiologia**, Jena, v.17, p.262-282, 1977.
- BARLEY, K.P. The abundance of earthworms in agricultural land and their possible significance in agriculture. **Adv. Agron.**, San Diego, v.19, p.1-43, 1961.
- BARRACLOUGH, P.B.; WEIR, A.H. Effects of a compacted subsoil on root and shoot growth, water use and nutrient uptake of winter wheat. **J. Agric. Sci.**, Cambridge, v.110, p.207-216, 1988.
- BAUCHHENß, J. Die Bedeutung der Bodentiere für die Bodenfruchtbarkeit und die Auswirkung landwirtschaftlicher Maßnahmen auf die Bodenfauna. **Kali-Briefe**, Bern, v.16, n.9, p.529-548, 1983.

- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. **Física del Suelos**. México: Ed. Hispano-Americana, 1973.
- BEHAN, V.A.; STUART, B.B.; McKEVAN, D.K. Effects of nitrogen fertilizers, as urea, on Acarina and other arthropods in Quebec black spruce humus. **Pedobiologia**, Jena, v.18, p.249-263, 1978.
- BERBEN, J.C. The influence of soil density and the amount of precipitation on the root and stem growth of various tree species. **Agricultura**, Madrid, v.20, p.129-148, 1972.
- BERG, N.W.; PAWLUK, S. Soil mesofaunal studies under different vegetative regimes in North Central Alberta. **Can. J. Soil Sci.**, Ottawa, v.64, p.209-223, 1984.
- BHADORIA, P.B.S.; KASELOWSKY, J.; CLAASSEN, N; JUNGK, A. Impedance factor for chloride diffusion in soil as affected by bulk density and water content. **Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.**, Weinheim, v.154, p.69-72, 1991.
- BOLTON, H.; FREDERICKSON, J.K.; ELLIOTT, L.F. Microbial ecology of the rhizosphere. In: METTING Jr, F.B. (Ed.) **Soil microbial ecology**. New York: Marcel Dekker Inc., 1992. p.27-64.
- BORGES, E.N.; NOVAIS, R.F.de; BARROS, N.F.de; COSTA, L.M.da; NEVES, J.C.L. Respostas de mudas de Eucalipto a camadas compactadas de solo. **Revista Árvore Viçosa**, v.10, n.2, p.181-195, 1986.
- BRADFORD, J.M.; GUPTA, S.C. Soil compressibility. In: BLACK, C.A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, v.1, 1976.
- BUND, C.F. van. Influence of crops and tillage on mites and springtails in arable soil. **Neth. J. Agric. Sci.**, Wageningen, v.18, p.308-314, 1970.
- BURKE, D.W.; HOLMES, L.D.; BARKER, A.W. Distribution of *Fusarium solani* sp. *phaseoli* and bean roots in relation to tillage and soil compaction. **Phytopathology**, St.Paul, v.62, p.550-554, 1972 a.
- BURKE, D.W.; MILLER, D.E.; HOLMES, L.D.; BARKER, A.W. Counteracting bean root rot by loosening the soil. **Phytopathology**, St. Paul, v.62, p.306-309, 1972 b.

- BUTCHER, J.W.; SNIDER, R.; SNIDER, R.J. Bioecology of edaphic Collembola and Acarina. **Ann. Rev. Entomol.**, Palo Alto, v.16, p.249-288, 1971.
- BZUNECK, H.L. **Efeitos de dois sistemas de preparo de solo e de sucessões de culturas na população de ácaros e colêmbolos.** Curitiba, 1988. 130 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- CAMARGO, O. A. de; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas.** Piracicaba: O.A. Camargo, L.R.F. Alleoni, 1997.
- CANNEL, R.Q. Soil aeration and compaction in relation to root growth and soil management. **Appl. Biol.**, Wellesbourne, v.2, p.1-86, 1977.
- CARTER, M.R. Microbial biomass as an index for tillage-induced changes in soil biological properties. **Soil & Tillage Res.**, Amsterdam, v.7, p.29-40, 1986.
- CARVALHO, Y. de. **Densidade e atividade dos microrganismos do solo em plantio direto e convencional na região de Carambeí-PR.** Curitiba, 1997. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- CHOUDHURI, D.K. Effect of soil structure on Collembola. **Sci. Cult.**, Calcutta, v.27, p.494-495, 1961.
- CHRISTIANSEN, K. Bionomics of Collembola. **Ann. Rev. Entomol.**, Palo Alto, v.9, p.147-178, 1964.
- CINTRA, F.L.D.; MIELNICZUK, J.; SCOPEL, I. Caracterização do impedimento mecânico em um Latossolo Roxo do Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Campinas, v.7, p.323-327, 1983.
- COCHRAN, W.G.; COX, G.M. **Experimental designs.** New York: John Wiley & Sons, 1957.
- COHRON, G.T. Forces causing soil compaction. In: **Compaction of agricultural soils.** St. Joseph: Am. Soc. Agr. Eng. Monogr., 1971. p. 106-122.

- CONSTANTINI, A.; DUNN, G.M.; GRIMMET, J.L. Towards sustainable management of forest plantations in southeast Queensland. II: Protecting soil and water values during second rotation *Pinus* plantation management. **Australian Forestry** v.60, n.4, p.226-232, 1997.
- CORREIA, C.R.M. de A.; ALVARES V, V.H.; PEREIRA, P.R.G. Formação de micorrizas em plantas de *Eucalyptus grandis* crescidas em colunas de solo compactado em subsuperfície. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XXV, 1995, Viçosa. **Anais**. Viçosa: SBCS, 1995. p.379-380.
- COUTTS, M.P.; PHILIPSON, J.J. Tolerance of tree roots in waterlogging. II. Adaptation of sitka spruce and lodge pole pine to waterlogged soil. **New Phytol.**, Cambridge, v.80, p.71-77, 1978.
- CURRY, J.P. **Grassland Invertebrates**. London: Chapman & Hall, 1994.
- DANFORS, B. Compaction in the subsoil. **Swed. Inst. Agric. Eng. Spec. Publ.** n° 5, 1974.
- DEXTER, A.R. Tunneling in soil by earthworms. **Soil Biol. Biochem.**, Elmsford, v.10, p.447-449, 1978.
- DICK, R.P.; MYROLD, D.D.; KERLE, E.A. Microbial biomass and soil enzyme activities in compacted and rehabilitated skid trail soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.52, p.512-516, 1988.
- DICKERSON, B.P. Soil compaction after tree-length skidding in northern Mississippi. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.40, p.965-966, 1976.
- DIDDEN, W.A.M. Reactions of *Onychiurus fimatus* (Collembola) to loose and compact soil. Methods and first results. **Pedobiologia**, Jena, v.30, p.93-100, 1987.
- DINDAL, D.L. Soil animals and soil fabric production: facts and perceptions. **Quaest. Entomol.** v.12, n.4, p.587-594, 1985
- DINDAL, D.L. **Soil Biology Guide**. New York: John Wiley & Sons, 1990.
- DIONÍSIO, J.A. **Atividades microbianas em diferentes sistemas de cultivo de *Eucalyptus grandis* (W Hill ex Maiden)**. Curitiba, 1996. 90 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

- DUNGER, W. Methoden zur vergleichenden Auswertung von Fütterungsversuchungen in der Bodenbiologie. **Abh. Ber. Naturkundemus. Görlitz**, Görlitz, v.37, p.143-162, 1962.
- DUNGER, W. **Tiere im Boden**. Die Neue Brehm-Bücherei. Wittemberg: Ziemsen-Verlag, 1983.
- EDITH, M.A.; MARQUES, A.F.SM. Avaliação das alterações microbiológicas em latossolo vermelho-amarelo álico sob monocultura de *Eucalyptus* sp. em comparação com Angico (*Piptadenia* sp.). **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, v.19, p.331-337, 1984.
- EHRNSBERGER, R. **Bodenmesofauna und Naturschutz**. Cloppenburg: Verlag Günter Runge, 1993.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos**. Rio de Janeiro: SNLCS, 1979.
- ENTRY, J.A.; REEVES, D.W.; MUDD, E.; LEE, W.J.; GUERTAL, E.; RAPER, R.L. Influence of compaction from wheel traffic and tillage on arbuscular mycorrhizae infection and nutrient uptake by *Zea mays*. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.180, p.139-146, 1996 a.
- ENTRY, J.A.; REEVES, D.W.; BACKMAN, C.B.; RAPER, R.L. Influence of wheel traffic and tillage on microbial biomass, residue decomposition and extractable nutrients in a Coastal Plain soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.180, p.129-137, 1996 b.
- FARNSWORTH, R.B. Soil aeration and sugar beet growth. **Proc. Amer. Soc. Sugar Beet Techn.** v.6, p.9, 1941.
- FERNANDEZ, R.; FAHLER, J.; FASSOLA, H.; PAHR, N.; LUPI, A. Influencia de la compactacion producida durante la tala rasa sobre la productividad del segundo ciclo de *Pinus taeda*. **Informe Técnico** n°3, 1995. EEA Montecarlo, Centro Regional Misiones.
- FIEDLER, H.J.; GRUNDA, B. Nachweiss der am Kohlenstoff-Kreislauf beteiligten Mikroorganismen und ihrer Leistungen. In: DUNGER, W.; FIEDLER, H.J. (Eds.) **Methoden der Bodenbiologie**. Jena: Gustav Fischer Verlag, 1997. p. 168-192.

- FILSER, J. **Dynamik der Collembolengesellschaften als Indikatoren für bewirtschaftungsbedingte Bodenbelastungen**. Aachen: Shaker Verlag, 1992.
- FOIL, R.R.; RALSTON, C.W. The establishment and growth of loblolly pine seedlings on compacted soils. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, Madison, v.31, p.565-568, 1967.
- GAHEEN, S.A.; NJOES, A. Long term effects of tractor traffic on infiltration rate in an experiment on a loam soil. **Meld. Nor. Landbrukshgkhoegsk.** 56, 1977.
- GAYOSO, J.; IORUMÉ, A. Compaction and soil disturbance from logging in southern Chile. **Ann. Sci. For.**, Paris, v.48, p.63-71, 1991.
- GEDIGA, K. Influence of subsoil compaction on the uptake of ^{45}Ca from the soil profile and on maize yield. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.19, p.351-355, 1991.
- GENT, J.A.; BALLARD, R.; HASSAN, A.E.; CASSEL, D.K. Impact of harvesting and site preparation on physical properties of Piedmont forest soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.48, p.173-177, 1984.
- GERARD, G.; BERTHET, R. A statistical study of microdistribution of Oribatei (Acari. Part II: The transformation of the data. **Oikos**, Copenhagen, v.17, p.142-149, 1966.
- GISI, U. **Bodenökologie**. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1997.
- GLINSKI, J.; STEPNIIEWSKI, W. **Soil aeration and its role for plants**. Boca Raton: CRC Press, 1985.
- GRABLE, A.R. Effects of compaction on content and transmission of air in soils. In: **Compaction of Agricultural Soils**. St. Joseph: Am. Soc. Agric. Engr, 1971. p. 154-164.
- GRATH, T.; HAKANSSON, I. Soil compaction studies in swedish pea fields with uneven crop growth. In: INT. CONF. SOIL COMPACTION AND SOIL MANAGEMENT, 1992, Tallin, Estonia. **Proceedings**. Tallin, 1992. p.175-178.
- GRAY, L.E.; POPE, R.A. Influence of soil compaction on soybean stand, yield and *Phytophthora* root rot incidence. **Agron. J.**, Madison, v.78, p.189-191, 1986.

- GREACEN, E.L.; BARLEY, K.P.; FARREL, D.A. The mechanics of root growth in soils with particular reference to the implications for root distribution. In: WHITTINGTON, W.J. (Ed.) **Root growth**. London: Butterworths, 1969. p.256-269.
- GREACEN, E.L.; SANDS, R. Compaction of forest soils. A review. **Aust. J. Soil Res.** Melbourne, v.18, p.163-189, 1980.
- HAINES, L.W.; MAKI, T.E.; SANDERFORD, S.G. The effect of mechanical site preparation treatments on soil, productivity and tree growth. In: **Forest soils and forest land management**. Quebec: Les Presses de l'Universite Laval, 1975. p. 379-395.
- HALLMARK, W.B.; BARBER, S.A. Root growth and morphology, nutrient uptake, and nutrient status of soybeans as affected by soil K and bulk density. **Agron. J.**, Madison, v.73, p.779-782, 1981.
- HARROD, M.F. Field behaviour of light soils. **Tech. Bull. Min. Agric. Fish Food** v.29, p.22-51, 1975.
- HEILMAN, P. Root penetration of Douglas-fir seedlings into compacted soil. **Forest Sci.**, Bethesda, v.27, n.4, p.660-666, 1981.
- HEISLER, C. Erfassung der Collembolen und Milbenfauna einer Ackerfläche. **Zool. Anz.**, Jena, v.223, n.3-4, p.239-248, 1989.
- HEISLER, C. Einfluß von Gefügeschaden infolge mechanischer Belastungen auf die Springschwanz-Besiedlung einer konventionell bewirtschafteten Ackerfläche (Collembola). **Entomol. Gen.**, Stuttgart, v.16, n.1, p.39-52, 1991.
- HEISLER, C. Einfluß von mechanischer Bodenbelastungen (Verdichtung) auf Raubmilben und Collembolen in landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen. In: EHRNSBERGER, R. (Ed.) **Bodenmesofauna und Naturschutz**. Cloppenburg: Verlag Günter Runge, 1993. p. 209-219.
- HEISLER, C. Auswirkungen von Bodenverdichtungen auf die Bodenmesofauna: Collembola und Gamasina – ein dreijähriger Feldversuch. **Pedobiologia**, Jena, v.38, p.566-576, 1994.

- HEISLER, C. Collembola and Gamasina – bioindicators for soil compaction. **Acta Zool. Fennica**, Helsinki, v.196, p.229-231, 1995.
- HEISLER, C.; KAISER, E.A. Influence of agricultural traffic and crop management on Collembola and microbial biomass in arable soil. **Biol. Fert. Soils**, Berlin, v.19, p.159-165, 1995.
- HERBAUTS, J.; EL BAYAD, J.; BRUGER, W. Influence of logging traffic on the hydromorphic degradation of acid forest soils developed on loessic loam in middle Belgium. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.87, p.193-207, 1996.
- HERMOSILLA, W.; RECA, A.R.; PUJALTE, J.A.; RUBIO, J. Efectos de la compactacion del suelo sobre la fauna edafica en campos pastoreados (Partido de Chascomus, Provincia de Buenos Aires – Argentina). **Physis**, Buenos Aires, v.36, n.92, p.227-236, 1977.
- HILDEBRAND, E.E. Der Einfluß der Bodenverdichtung auf die Bodenfunktion im forstlichen Standort. **Forstw. Cbl.**, Hamburg, v.102, n.2, p.111-125, 1983.
- HILL, J.N.S.; SUMMER, M.E. Effect of bulk density on moisture characteristics of soils. **Soil Sci.**, Baltimore, v.103, p.234-238, 1967.
- HOOK, D.D.; BROWN, C.L. Root adaptations and relative flood tolerance of five hardwood species. **For. Sci.**, Bethesda, v.19, p.225-229, 1973.
- INCERTI, M.; CLINNICK, P.F.; WILLATT, S.T. Changes in the physical properties of a forest soil following logging. **Aust. For. Res.**, Melbourne, v.17, p.91-108, 1987.
- JENKINSON, D.S. Studies on the decomposition of plant material in soil. II. Partial sterilisation of soil and the soil biomass. **J. Soil. Sci.**, Oxford, v.17, p.280-302, 1966.
- JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD, J.N. (Ed.) **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1981. p.415-471.
- JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. I. Fumigation with chloroform. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, v.8, p. 167-177. 1976.

- JENSEN, L.S.; McQUEEN, D.J.; SHEPERD, T.G. Effects of soil compaction on N-mineralization and microbial-C and -N. I. Field measurements. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.38, p.175-188, 1996.
- JOSCHKO, M. Bodentiere und Bodenphysik. **Norddtsch. Naturschutzakad.** v.3, p.65-68, 1990.
- JUSOFF, K.; MAJID, N.M. An analysis of soil disturbance from logging operation in a hill forest of Peninsular Malaysia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.47, p.323-333, 1992.
- KAISER, E.A.; HEISLER, C.; WALENZIK, G.; HEINEMEYER, O. The effect of mechanical soil compaction on microbial biomass development, Collembolan fauna, denitrification and mineralization in an agricultural location. **Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft**, Oldenburg, v.66, n.1, p.531-534, 1991.
- KAISER, E.A.; WALENZIK, G.; HEINEMEYER, O. Auswirkungen von Bodenverdichtung auf Bodenmikroorganismen. In: BRENNDÖRFER, M. (Ed.) **Bodenverdichtung**. Darmstadt: KTBL, 1995. p. 157-175.
- KEILEN, K. Estudos da alteração do solo pelo trânsito intensivo. In: MALINOVSKI, J.R. (Ed.) SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, VII, 1992, Curitiba. **Anais**. Curitiba: DSM/SCA/UFPR, 1992. p.217-220.
- KEMPER, W.D.; STEWART, B.A.; PORTER, L.K. Effects of compaction on soil nutrient status. In: BARNES, K.K.; CARLETON, W.M.; TAYLOR, H.M.; THROCKMORTON, R.I.; VAN DEN BERG, G.E. (Ed.) **Compaction of agricultural soils**. St. Joseph: ASAE Monogr., American Society of Agricultural Engineers, 1971. p.178-189.
- KNIGHT, C.B. The Tomocerinae in old field stands of North Carolina. **Ecology**, Temple, v.42, p.140-149, 1961.
- KOBIYAMA, M.; USHIWATA, C.T. Influence of compaction on physical properties of a forest soil. In: 1º CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1993, Curitiba. **Anais**. Curitiba: SBS/SBEF, 1993. p.254-258.

- KRAFT, J.M.; GILES, R.A. Increasing green pea yields with root-rot resistance and subsoiling. In: SCHPPERS, B.; GAMS, W. (Ed.) **Soil borne plant pathogens**. New York: Academic Press, 1979. p.407-413.
- KÜHNELT, W. **Soil Biology**. East Lansing: Michigan State University Press, 1976.
- LADD, J.N.; AMATO, M.; OADES, J.M. Decomposition of plant material in australian soil. III. Residual organic and microbial biomass C and N from isotope-labelled legume material and soil organic matter, decomposing under field conditions. **Aust. J. Soil Res.**, Melbourne, v.23, p.603-611, 1985.
- LAL, R. Deforestation and soil erosion. In: R. LAL, P.A. SANCHEZ, R.W.CUMMINGS (Eds), **Land Clearing and Development in the Tropics**. Rotterdam: A.A. Balkema, 1986.
- LARSON, W.E.; ALLMARAS, R.P. Management factors and natural forces as related to compaction. In: **Compaction in agricultural soils**. St.Joseph: Am. Soc. Agric. Eng. Monogr., 1971. p. 367-427.
- LEE, K.E.; FOSTER, R.C. Soil fauna and structure. **Aust. J. Soil Res.**, Melbourne, v.29, p.745-775, 1991.
- LIEW, T.C. A note on soil erosion sutdy at tawaii Hills Forest Reserve, Malay. **Nat. J. Aarhus**, v.27, n.1-2, p.20-26, 1974.
- LIPIEC, J.; STEPNIIEWSKI, W. Effects of soil compaction and tillage systems on uptake and losses of nutrients. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.35, p.37-52. 1995.
- LIPIEC, J.; SZUSTAK, A.; SZATANIK-KLOC, A.; KSIEZOPOLSKA, A. Effect of soil compaction on the growth and nutrient uptake of barley and maize. In: CONF. INT. SOIL TILLAGE RESEARCH ORGANIZATION (ISTRO), 13., 1994, Aalborg, Denmark. **Proceedings**. Aalborg: Dannish Institute of Plant and Soil Science, vol. 2, 1994. p.683-689.
- LULL, H.W. Soil compaction on forest and orange lands. **U.S. Forest Service, Misc. Publ.** 768, 1959.
- MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Curitiba: BADEP, UFPR, IBPT, 1968.

- MACFADYEN, A. The invertebrate fauna of Jan Mayen Island (East Greenland). **J. Anim. Ecol.**, Oxford, v.23, p.262-297, 1954.
- MALINOVSKI, R.A.; MALINOVSKI, J.R. **Evolução dos sistemas de colheita de Pinus na Região Sul do Brasil**. Curitiba: FUPEF, 1998.
- MALMER, A.; GRIP, H. Soil disturbance and loss of infiltrability caused by mechanized and manual extraction of tropical rainforest in Sabah, Malaysia. **For. Ecol. Manage.**, Amsterdam, v.38, p.1-12, 1990
- MARTINS, K. F.; DIONÍSIO, J.A.; SAUTTER, K.D. Avaliação da biomassa microbiana em três ambientes distintos. In: XXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. CD-Room.
- MASON, E.G.; CULLEN, A.W.J.; RIJKSE, W.C. Growth of two *Pinus radiata* stock types on ripped and ripped/bedded plots at Karioi Forest. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v.18, n.3, p.287-296, 1988.
- MATTHES, R.K.; WATSON, W.F. Measurements of a pressure at the soil-tire interface of a rubber-tired skidder. **ASAE Paper**, St. Joseph, n° 89-7066, 1989.
- MATTHIES, D.; WEIXLER, H.; GUGLHÖR, W.; LÖFFLER, H.; REHFUESS, K.E. Bodenuntersuchungen zu befahrungsbedingten Strukturveränderungen auf Waldstandorten in Bayern. **Abschlußbericht zum Forschungsprojekt A30 des Kuratoriums der bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft**, 1995.
- MENZIES, J.D. Fungi. In: BLACK, C.A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, v.2, p.1502-1505, 1965.
- MEYER, B. Zur Theorie der Gefüge-Verdichtung, -Lockerung und -Stabilität in Ackerböden aufgrund mikrostruktureller Erscheinungen. **Mitt. Dstch. Bodenkd. Ges.**, Oldenburg, v.34, p.149-152, 1982.
- MILES, J.A. Soil compaction produced by logging and residue treatment. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.21, n.1, p.60-62, 1978.

- MILLER, D.E.; BURKE, D.W. Reduction of *Fusarium* root rot and *Sclerotinia* wilt in beans with irrigation, tillage and bean genotype. **Plant Dis.**, St. Paul, v.70, p.163-166, 1986.
- MITCHELL, M.L.; HASSAN, A.E.; DAVEY, C.B.; GREGORY, J.D. Loblolly pine growth in compacted greenhouse soils. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, p.304-312, 1982.
- MONIZ, A.C. **An Ultisol-Oxisol transition in São Paulo State, Brazil.** Raleigh, 1981. 300 f. Tese (Doutorado) - North Carolina State University.
- MOOTS, C.K.; NICKELL, C.D.; GRAY, L.E. Effects of soil compaction on the incidence of *Phytophthora megasperma* f. sp. *glycinea* in soybean. **Plant Dis.**, St. Paul, v.72, p.896-900, 1988.
- MUELLER, C.H.; CHOU, C.H. Phytotoxins: an ecological phase of phytochemistry. In: HARBORNE, J. (Ed.) **Phytochemical Ecology**. London: Academic Press, 1972. p.201-216.
- NIMME, J.R.; AKSTIN, K.C. Hydraulic conductivity of a sandy soil on low water content after compaction by various methods. **Soil Sci. Soc. Amer. J.**, Madison, v.52, p.303-310, 1988.
- OHU, J.O.; RAGHAVAN, G.S.V.; MCKYES, E. Peatmoss effect on the physical and hydraulic characteristic of compacted soils. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, p.420-424, 1985.
- OLIVEIRA, C.V.de; BAHIA, V.G.; PAULA, M.B. de. Compactação do solo devido à mecanização florestal: causas, efeitos e práticas de controle. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.19, n.191, p.46-48, 1998.
- PALISSA, A. Über die Wirkung verschiedener Pflanzenstoffe auf Bodentiere. In: GRAFF, O.; SATCHELL, S.(Eds.) **Progress in Soil Zoology**. Braunschweig, 1967. p.88-92.
- PARISH, D.H. Soil conditions as they affect plant establishment root development and yield. (E) Effect of compaction on nutrient supply to plants. In: **Compaction of agricultural soils**. St.Joseph: Am. Soc. Agr. Eng. Monogr., 1971. p.277-291.

- PETELKAU, H.; DANNOWSKI, M. Effect of repeated vehicle traffic lanes on soil physical properties, nutrient uptake and yield of oats. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.15, p.217-225, 1990.
- PHILLIPS, R.E.; BROWN, D.A. Ion diffusion: III. The effect of soil compaction on self diffusion of rubidium-61 and strontium-89. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v.29, p.657-661, 1965.
- PONGE, J.F. Biocenoses of Collembola in atlantic temperate grass-woodland ecosystems. **Pedobiologia**, Jena, v.37, n.4, p.223-244, 1993.
- PORTERFIELD, J.W.; CARPENTER, T.G. Soil compaction: An Index of potential compaction for agricultural tires. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.29, n.4, p.917-922, 1986.
- POTTER, M.K.; LAMB, K.M. Root development of radiata pine in the ground soils of Eyrewelt Forest, Canterbury. **N.Z. J. For.**, Rotorua, v.19, p.264-275, 1974.
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van. Comparação de métodos rápidos para determinação da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, p. 184-187, 1979.
- RAB, M.A. Changes in physical properties of a soil associated with logging of *Eucalyptus regnans* forest in southern Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.70, p.215-229, 1994.
- RAB, M.A. Impact of timber harvesting on soil disturbance and compaction with reference to residual log harvesting in East Gippsland, Victoria – a review. **VSP Tech. Rep. No. 13**, Native Forest Research, Department of Conservation and Environment, Victoria, Australia, 1992.
- RAIJ, B. van ; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Boletim Técnico do Instituto Agronômico, Campinas: IAC, n.81, 1979.
- RITZ, K.; DIGHTON, J.; GILLER, K.E. **Beyond the biomass: compositional and functional analysis of soil microbial communities**. Chichester: John Wiley & Sons, 1994.
- ROBERTSON, L.S.; ERICKSON, A.E. Soil Compaction: Symptoms, causes, remedies. **Crops and Soils Magazine**, Madison, v.30, n.4, p.11-14. 1978.

- ROCHETTE, P.; DESJARDINS, R.L.; PATTEY, E. Spatial and temporal variability of soil respiration in agricultural fields. **Can. J. Soil Sci.** , Ottawa, v.71, p.189-196, 1991.
- ROLOFF, G. **Aspectos dinâmicos da estrutura de solos agrícolas e seu estudo.** Washington: Embaixada do Brasil, 1986.
- ROTHROCK, C.S. Tillage systems and plant disease. **Soil Science**, Baltimore, v.154, n.4, p.308-315, 1992.
- RUARK, G.A.; MADER, D.L.; TATTAR, T.A. The influence of soil compaction and aeration on the root growth and vigour of trees – a literature review. Part 1. **Arboricultural Journal**, Oxon, v.6, p.251-265, 1982.
- SANDS, R.; BOWEN, G.D. Compaction of sandy soils in radiata pine forests. II. Effects of compaction on root configuration and growth of radiata pine seedlings. **Aust. For. Res.** , Melbourne, v.8, p.163-170, 1978.
- SANDS, R.; GREACEN, E.L.; GERARD, C.J. Compaction of sandy soils in radiata pine forests. I. A penetrometer study. **Aust. J. Soil. Res.** , Melbourne, v.17, p.101-113, 1979.
- SAUTTER, K.D. **Comparação da população de Collembola (Insecta) e Oribatei (Acari: Cryptostigmata) entre plantio direto em três níveis de fertilidade, plantio convencional e um ecossistema natural (campo).** Curitiba, 1995. 98 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.
- SCHAFER, R.L.; BAILEY, A.C.; JOHNSON, C.E.; RAPER, R.L. A rationale for modelling soil compaction behaviour: an engineering mechanics approach. **ASAE Paper**, St. Joseph, nº 89-1097, 1989.
- SEASTED, T.R. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. **Ann. Rev. Entomol.**, Palo Alto, v.29, p.25-46, 1984.
- SHEPTUKHOV, V.N.; VORONIN, A.I.; SHIPILOV, M.A. Bulk density of the soil and its productivity. **Soviet Soil Science**, New York, v.5, p.97-107, 1982.

- SILVA FILHO, G.N. **Flutuação populacional de microrganismos em solos submetidos a diferentes sistemas de manejo.** Porto Alegre, 1984. 163 f. Dissertação – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SILVA, L.F.da; PEREIRA, C.P.; MELO, A.A.O.de. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento de plântulas de cacau (*Theobroma cacao*) e na penetração das suas raízes. **Rev. Theobroma**, Ilhéus, v.7, p.13-18, 1977.
- SINGH, J.; PILLAI, K.S. A study of soil microarthropod communities in some fields. **Rev. Ecol. Biol. Sol**, Paris, v.12, n.3, p.579-590, 1975.
- SKINNER, M.F.; BOWEN, G.D. The penetration of soil by mycelial strands of ectomycorrhizal fungi. **Soil Biol. Biochem.**, Amsterdam, v.6, p.57-61, 1974.
- SMITH, C.W. Assessing compaction susceptibility of forestry soil. **Bulletin Series from the Institute for Commercial Forestry Research** n.8, p.1-12, 1995.
- SOKOLOVSKAYA, N.A.; REVUT, I.B.; MARKOV, I.A.; SHEVLYAKOV, I.R. The role of soil density in forest regeneration. **Lesovedenie**, Moscow, v.2, p.44-51, 1977.
- SOUSA, J.P. de. **Entrevista concedida a Klaus Dieter Sautter**, Ceske Budejovice, 14 ago. 2000.
- STEINBRENNER, E.C. The effect of repeated tractor trips on the physical properties of forest soils. **Northwest Sci.**, Pullman, v.29, p.155-159, 1955.
- STEPNIEWSKI, W.; GLINSKI, J.; BALL, B.C. Effects of soil compaction on soil aeration properties. In: SOANE, B.D.; VAN OUWERKERK, C. (Ed.) **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p.167-189.
- STRICKLAND, A.H. The soil fauna of two contrasted plots of land in Trinidad, B.W.I. **J. Anim. Ecol.**, Oxford, v.16, p.1-10, 1947
- SUTTON, S.L. **Woodlice**. London: Ginn, 1972.
- TAYLOR, H.M. Soil condition as they affect plant establishment, root development and yield. (F) Effects of soil strenght on seedling emergence, root growth and crop yield. In: **Compaction of agricultural soils**. St.Joseph: Am. Soc. Agric. Eng. Monogr., 1971. p. 292-305.

- 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, p.241-274, 1922.
- TRAVÉ, J.; ANDRÉ, H.M.; TABERLY, G.; BERNINI, F. **Les acariens oribates**. Wavre: Editions AGAR & SIALF, 1996.
- TRUJILLO, D.P. Container grown ponderosa pine seedlings respond to fertilization. **U.S. Dep. Agric. For. Ser. Res. Note** RM 319, 1976.
- USHIWATA, C.T.; SAUTTER, K.D.; KOBIYAMA, M. Influence of compaction of a forest soil on the soil fauna in a subtropical region. I. Oribatei (Acari, Cryptostigmata) and Collembola (Insecta). **Revta. Bras. Zool.**, Curitiba, v.12, n.4, p.905-913, 1995.
- VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A.S. Soil density and root penetration. **Soil Sci.**, Baltimore, v.65, p.487-493, 1948.
- VINCENT, J.M. **A manual for the practical study of root-nodules bacteria**. London: Burgess-IBP, 1970.
- WALDRIGUES, O.M.P. **Produtividade no setor florestal**. Curitiba, 1983. Trabalho de Pós-Graduação (Disciplina de Ciência do Trabalho Florestal) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- WALLWORK, J.A. **Ecology of soil animals**. London: MacGraw-Hill, 1970.
- WARDLE, D.A.; HUNGRIA, M. A biomassa microbiana do solo e sua importância nos ecossistemas terrestres. In: ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M. (Ed.) **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p.195-216.
- WARKENTIN, B.P. Effects of compaction on content and transmission of water in soils. In: **Compaction of agricultural soils**. St. Joseph: Am. Soc. Agric. Eng. Monogr., 1971. p. 126-153.
- WÄSTERLUND, I. Compaction of till soils and growth tests with Norway Spruce and Scots Pine. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.11, p.171-189, 1985.

- WÄSTERLUND, I. Effects of damage on the newly thinned stand due to mechanized forest operations. In: SEMINAR ON THE IMPACT OF MECHANIZATION OF FOREST OPERATIONS ON THE SOIL, 1989, Louvain-la-Neuve. **Proceedings**. Louvain-la-Neuve: ECE/FAO/ILO, 1989. p.165-175.
- WINNER, C. Schaden an Zuckerruben durch *Onychiurus campatus* Gis. **Nachrichtenbl. Dtsch. Pflanzenschutzdienste**, Berlin, v.11, p.67-69, 1959.
- WOLKOWSKI, R.P. Corn growth response to K fertilization on three compacted soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.21, p.287-298, 1991.
- WOLKOWSKI, R.P. Relationships between wheel-traffic-induced soil compaction, nutrient availability, and crop growth: a review. **J. Prod. Agric.**, Madison, v.3, p.460-469, 1990.
- WORREL, R.; HAMPSON, A. The influence of some forest operations on the sustainable management of forest soils, a review. **Forestry**, v.70, n.1., 1997.
- ZISA, R.P.; HALVERSON, H.G.; STOUT, B.B. Establishment and early growth of conifers on compact soils in urban areas. **USAD For. Ser. Res. Pap.** NE 451, 1980.
- ZYUZ, N.S. Bulk density and hardness of the Hillocky Sands of the Middle Don. **Sov. Soil Sci.**, New York, v.13, p.1769-1776, 1968.

APÊNDICE

APÊNDICE 1. ANÁLISE QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL.
TELÊMACO BORBA - PR, 1996/1997.

Horizonte	pH	pH	Al^{+3}	Ca^{+2}	H^+	K	Na	P	C
	CaCl	Água	meq/100 cm ³ de solo seco		Al ⁺³				
A (0-30 cm)	3,72	4,3	2,5	0,7	11,6	16	2	1	1,7
B (30 - 220+ cm)	4,13	4,5	1,0	0,7	5,9	8	2	1	0,68

Horizonte	Areia grossa %	Areia fina %	Silte %	Argila %
A (0-30 cm)	11	26	19	44
B (30 - 220+ cm)	10	23	15	52

APÊNDICE 2. DESCRIÇÃO DAS MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.

<i>Máquinas e equipamentos</i>	<i>Descrição</i>
Harvester Piko 450	Acionamento próprio para o corte de árvores, peso total 10000 kg; carga no eixo dianteiro 4800 kg; carga no eixo traseiro 5200 kg; altura no transporte 385 cm; comprimento no transporte 565 cm; largura 264 cm; comprimento entre eixos 335 cm; motor Valmet 420 DWI de 90 KW. Com grua Pico 8900, peso de 1700 kg, alcance de 9,20 m; alcance com extensão 10,2 m.
Forwarder 636S Valmet	Trator articulado sobre roda para baldeio; tração 6 x 6; capacidade de carga de 10 ton.; motor Cummings 6B 5.9 6 cilindros; peso próprio 11900 kg.
Trator agrícola de pneus Valmet 128R	4 x 4, com 130 hp de potência, à diesel, com dimensões de 5300 mm. no máximo de comprimento; altura máxima de 2970 mm; largura máxima de 2300 mm; distância entre eixos de 2670 mm; vão livre de 225 mm; peso em ordem de marcha de 7220 kg.
Trator agrícola de pneus Valmet 985S	4 x 4 com 105 hp de potência, à diesel, com dimensões de 4540 mm no máximo do comprimento; altura máxima de 2890 mm; largura máxima de 2310 mm; vão livre de 412 mm; peso em ordem de marcha de 6000 kg.
Carregador florestal Valmet CF 2550	Para montagem em trator ou caminhão. Alcance máximo horizontal de 5,0 m, com capacidade líquida no maior alcance de 300 kg.
Skidder Caterpillar 515	140 hp de potência; comprimento total de 5800 mm; largura total de 2724 mm; comprimento entre eixos de 3300 mm; peso total de 12497 kg.

APÊNDICE 3. TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA, EXPRESSA EM °C, REGISTRADA NO MUNICÍPIO DE TELÊMACO BORBA (PR), DE MARÇO DE 1996 A ABRIL DE 1997.

Data	Meses													
	1996										1997			
	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
01	20.9	23.8	16.9	14.0	11.9	15.7	15.7	17.3	20.8	21.0	24.7	21.5	21.2	19.0
02	19.2	23.8	17.3	10.6	15.2	16.8	17.4	14.8	20.3	20.2	22.7	19.9	20.9	17.5
03	17.7	24.6	15.7	11.4	16.6	16.4	14.0	17.5	19.5	19.4	22.2	21.3	18.8	20.1
04	21.2	24.5	16.8	13.3	13.5	18.4	15.3	19.9	21.1	20.3	21.8	21.9	20.5	20.7
05	22.0	22.5	17.1	14.2	14.8	20.4	15.4	22.9	20.8	21.4	23.1	24.7	20.4	16.3
06	23.5	21.9	17.8	13.4	16.4	19.0	16.3	20.0	20.7	20.8	22.8	23.9	20.9	18.2
07	20.3	23.1	18.9	15.5	13.7	17.0	16.6	18.7	22.2	20.9	24.4	22.5	24.0	17.2
08	21.3	20.8	21.1	15.4	16.0	19.8	15.0	17.8	21.4	23.6	24.7	23.3	24.2	18.2
09	22.2	23.3	18.8	13.8	16.1	18.5	11.9	18.2	23.6	25.7	21.1	23.3	22.9	17.5
10	20.4	22.7	17.6	13.9	13.5	15.7	9.9	17.7	23.0	24.2	20.0	23.2	22.2	18.9
11	20.3	19.0	17.0	14.9	8.0	11.5	11.9	18.7	20.7	19.7	20.9	23.2	22.5	19.8
12	21.1	20.8	16.8	15.1	10.1	15.7	15.5	19.2	18.0	19.9	23.2	21.6	21.8	20.7
13	22.3	21.2	18.2	15.7	14.7	16.8	16.6	19.6	22.3	21.6	23.6	23.1	25.0	20.6
14	23.0	21.4	19.4	17.0	15.5	18.7	19.0	17.0	21.4	22.5	23.2	22.0	21.5	22.9
15	21.4	21.3	18.3	18.2	13.4	14.7	18.9	17.7	21.6	24.1	22.9	20.0	19.0	21.3
16	20.5	19.0	17.4	19.8	12.5	13.7	20.1	17.2	22.5	19.2	21.1	21.6	20.0	19.3
17	21.1	15.9	16.1	19.4	11.9	14.2	16.8	20.8	23.5	20.1	21.6	20.1	19.9	18.7
18	21.3	11.5	17.7	20.5	15.2	16.7	14.2	23.5	21.8	21.2	20.1	21.6	19.3	20.7
19	21.0	14.9	17.6	20.8	17.9	17.5	17.2	19.0	19.6	23.6	20.9	23.0	20.0	20.9
20	19.9	16.1	18.6	15.9	19.7	18.3	19.2	18.6	19.4	20.3	21.1	20.1	21.4	18.3
21	20.2	17.9	17.8	15.2	11.9	19.4	22.2	17.3	19.8	22.7	19.4	22.9	21.9	19.4
22	18.9	19.6	17.9	14.6	8.1	18.1	23.8	18.0	19.3	20.5	20.2	22.5	20.4	19.0
23	21.5	19.9	18.0	15.8	10.8	20.7	22.4	21.7	19.1	23.0	21.6	24.3	21.8	20.1
24	20.9	19.6	16.4	14.3	14.0	19.8	19.5	19.5	21.7	25.1	22.8	22.0	22.6	19.6
25	19.8	20.0	12.3	18.0	16.9	20.8	17.1	18.0	21.8	25.9	20.6	23.3	20.5	18.8
26	23.3	19.3	15.0	18.6	16.5	21.9	18.2	18.8	20.4	26.0	20.7	24.7	19.0	15.0
27	21.1	16.7	16.2	11.3	14.9	21.3	19.4	20.8	21.0	22.9	21.4	23.8	19.5	17.3
28	21.4	15.8	17.3	7.0	16.8	21.3	18.0	21.0	20.6	22.6	21.7	22.6	19.4	17.0
29	23.7	18.8	16.3	7.0	14.4	16.9	17.8	23.2	21.3	21.3	20.9	-	19.7	17.0
30	24.0	18.4	15.8	10.5	12.2	17.2	21.3	24.3	20.9	23.8	22.5	-	18.8	19.8
31	23.6	-	16.8	-	12.1	20.2	-	23.4	-	24.8	21.4	-	17.7	-
Médis	21.2	19.9	17.2	14.8	14.0	17.8	17.2	19.4	21.0	22.2	21.9	22.4	20.9	19.0

APÊNDICE 4. PRECIPITAÇÃO PLUVIAL DIÁRIA, EXPRESSA EM MM, REGISTRADA NO MUNICÍPIO DE TELÊMACO BORBA (PR), DE MARÇO DE 1996 A ABRIL DE 1997.

Data	Meses													
	1996										1997			
	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
01	30.4	-	-	19.8	-	-	-	-	-	0.6	-	31.0	0.8	1.8
02	3.2	-	-	-	5.4	-	5.4	8.8	44.2	-	-	73.2	-	8.0
03	22.8	-	-	-	-	-	53.6	2.4	0.6	11.8	-	9.2	-	-
04	-	6.2	-	2.2	-	-	-	-	-	57.6	-	9.6	-	-
05	-	-	-	11.4	-	-	-	-	-	2.8	-	-	1.8	-
06	39.0	-	-	-	-	-	-	13.6	-	11.6	12.0	-	-	-
07	2.4	1.0	-	-	1.4	0.4	-	-	3.2	-	1.0	-	-	-
08	6.4	-	-	-	-	-	34.4	-	9.0	-	11.6	-	-	-
09	11.2	-	-	-	6.8	29.6	9.6	-	7.4	-	55.4	24.0	-	-
10	-	14.0	-	-	-	-	6.8	3.4	21.6	-	33.0	-	-	-
11	-	2.0	-	-	-	-	0.6	-	1.0	0.8	20.2	2.0	19.0	2.2
12	-	0.6	-	-	-	-	-	-	46.0	20.0	35.8	-	-	0.6
13	0.4	-	-	-	-	-	-	-	29.0	24.4	-	-	-	-
14	29.4	19.2	-	-	-	-	7.8	-	-	2.8	-	0.4	-	4.2
15	4.4	4.2	-	-	-	-	-	-	16.0	-	3.0	33.0	7.0	-
16	-	-	-	4.2	-	-	6.8	-	2.4	24.0	-	18.4	-	1.4
17	-	-	1.0	-	-	-	-	-	-	3.2	2.6	2.8	-	9.0
18	3.2	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4	0.2	2.4	-	0.6
19	1.0	-	-	-	-	-	-	-	62.6	-	7.8	6.0	7.8	-
20	6.4	-	-	-	-	-	-	-	21.4	-	20.8	61.6	2.6	-
21	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15.0	139	-	-
22	3.2	-	5.8	-	-	-	-	-	3.0	-	27.6	7.8	-	-
23	2.0	-	-	-	-	-	32.0	-	-	-	1.4	1.0	-	-
24	-	-	-	-	-	-	48.6	15.8	-	-	8.2	-	-	8.2
25	-	-	1.4	5.8	-	-	0.4	24.2	-	0.4	4.4	-	3.0	3.4
26	2.0	-	-	3.0	3.8	-	-	1.4	-	27.6	19.6	-	-	-
27	0.8	1.6	-	0.4	-	-	1.6	-	-	14.0	47.0	-	-	-
28	-	13.0	-	-	-	-	1.0	-	-	11.0	7.0	-	-	-
29	-	-	-	-	-	-	1.0	-	-	13.2	9.4	-	-	-
30	12.6	-	-	-	-	-	-	-	11.4	-	17.4	-	-	-
31	0.2	-	8.4	-	-	10.2	-	0.8	-	-	21.6	-	-	-
Soma	181.4	61.8	16.6	46.8	17.4	48.6	201.2	233.4	163.8	306.4	471.4	234.0	17.6	48.8