

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

Implicações do tipo de coberto florestal nos horizontes orgânicos e minerais do solo

Aplicação a quatro povoamentos na Serra da Padrela, N. de Portugal

Felícia Maria da Silva Fonseca



VILA REAL, 1997

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

Implicações do tipo de coberto florestal nos horizontes orgânicos e minerais do solo

Aplicação a quatro povoamentos na Serra da Padrela, N. de Portugal

Felícia Maria da Silva Fonseca



VILA REAL, 1997

Dissertação original apresentada na
Universidade de Trás-os-Montes e Alto
Douro para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia dos Recursos Florestais.

AGRADECIMENTOS

Ao apresentarmos este trabalho queremos agradecer a todos quantos de uma forma directa ou indirecta contribuíram para a sua realização, pelo que agradecemos:

- Ao Magnífico Reitor da UTAD, por todo o apoio recebido desta instituição na elaboração do Curso e nos meios técnicos disponibilizados para a concretização desta dissertação.

- Ao Prof. Doutor Afonso Martins, Orientador desta dissertação, pela colaboração e sugestões no trabalho prático, revisão do texto, espírito crítico e rigor que manifestou no decurso da mesma.

- Ao Prof. Doutor Manuel Madeira pelas sugestões no estabelecimento do trabalho prático.

- Aos colegas Isabel Linhares e Jaime Pires pelas sugestões no tratamento dos resultados.

- Aos colegas Vitor Pinheiro e Ermelinda Pereira pela valiosa ajuda no tratamento estatístico dos dados e ao colega António Pirra pela leitura atenta do texto.

- Ao Prof. Doutor João Coutinho, responsável do Laboratório de Solos da UTAD, pela disponibilidade do espaço físico, material e colaboração nas determinações químicas.

- Ao Prof. Doutor Aloísio Loureiro e ao Eng^o Sardinha pelas informações prestadas acerca do historial dos povoamentos.

- Ao Prof. Doutor Dionísio Gonçalves pela colaboração na caracterização climática.

- Aos colegas Domingos Lopes e José Aranha pela ajuda na localização gráfica dos povoamentos.

- Ao técnico Francisco Machado pela ajuda na recolha dos dados dendrométricos dos povoamentos.

- Ao colega Fernando Raimundo pela preciosa ajuda na recolha de amostras no campo.

- Ao Investigador Doutor Vieira e Silva da Estação Agronómica Nacional pela identificação mineralógica da argila.

- Ao Senhor Mário Graça pela atenção dispensada e sugestões.

- A todo o pessoal do Laboratório de Solos da UTAD pela colaboração prestada nas determinações químicas e físicas. Agradecemos, em particular, à Fatinha pela disponibilidade sempre manifestada e bom humor.

- A todos os colegas da Área de Geociências da ESAB pela colaboração dada na docência o que permitiu uma maior disponibilidade de tempo para a execução da parte prática deste trabalho.

- Ao colega Tomás de Figueiredo pelas sugestões na interpretação de resultados.
- Às colegas Margarida Arrobas, Susana Costa e Susana Azevedo pela amizade, companhia e pequenas ajudas no trabalho de Laboratório e à colega Teresa Fonseca pela disponibilidade de equipamento informático.
- Ao meu pai e irmãos pelo incentivo, apoio e presença constante.
- Ao Agostinho pela paciência, apoio e por tudo o que significa.
- A todos os meus amigos que sempre me apoiaram e souberam fazer humor nos momentos mais oportunos.
- Ao Senhor José Lopes e à Marla pela ajuda no tratamento informático do texto.
- Ao Senhor José Carlos Rodrigues pelo desenho dos esquemas.
- A todos que colaboraram neste trabalho, e que não são mencionados, o nosso profundo agradecimento.

Resumo

Este trabalho pretende dar um contributo sobre o efeito da natureza das espécies florestais na pedogénese. Para tal estudaram-se os horizontes orgânicos e horizontes minerais dos solos desenvolvidos sob quatro espécies florestais (*P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*), na Serra da Padrela, próximo de Vila Pouca de Aguiar no Norte do País.

As espécies têm idades compreendidas entre 56 e 60 anos, foram instaladas sob condições edafo-climáticas idênticas, pelo que as diferenças observadas actualmente nos solos, em grande parte, poderão atribuir-se à influência das espécies.

Os horizontes orgânicos têm desenvolvimento máximo, compreendendo as camadas L, F e H. Os resultados mostram que os detritos produzidos pelas espécies *C. sativa* e *P. menziesii* apresentam valores idênticos, com maior concentração em elementos minerais que os produzidos pelas espécies *P. pinaster* e *P. nigra*. Estas duas espécies revelam igualmente valores de concentração semelhantes entre si.

No decurso do processo humificação/mineralização, de um modo geral, há um incremento nas concentrações em elementos minerais.

Em todos os solos analisados, observa-se horizontes A úmbricos com espessuras semelhantes, mas sempre mais espessos no solo sob *C. sativa* e B câmbicos situados a maior profundidade nos solos sob *P. menziesii* e *C. sativa*. As diferenças entre solos apenas foram detectadas no horizonte Ah1, especialmente na natureza do complexo de troca, com valores mais elevados de bases e menores de acidez no solo sob *P. menziesii* e *C. sativa*, reflectindo-se nos valores de pH. Do mesmo modo, para estes dois últimos solos observa-se cores mais escuras que nos solos sob *P. pinaster* e *P. nigra*. Estas diferenças de cor parecem mais associadas à natureza da matéria orgânica desenvolvida que à concentração de carbono.

A densidade aparente da fracção de terra fina no horizonte Ah1 é inferior a 0.8 e tende a ser idêntica nos diversos solos. A estabilidade de agregação diminui da camada Ah1 para a camada Ah2. Na primeira camada, essa estabilidade é menor no solo sob *P. menziesii*. A mineralogia da argila não mostra diferenças notórias entre os quatro solos, pelo que o processo de alteração mineral é idêntico.

As diferenças entre solos tendem a anular-se ao longo do perfil edáfico em todos as situações estudadas.

PALAVRAS CHAVE: Solos florestais, pedogénese, matéria orgânica, espécies florestais.

ÍNDICE GERAL

1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 - A NATUREZA DA VEGETAÇÃO E INFLUÊNCIA NO SOLO.....	2
2.1.1 - Morfologia do perfil do solo.....	3
2.1.2 - Horizontes orgânicos.....	3
2.1.3 - Matéria orgânica.....	5
2.1.3.1 - Humificação.....	6
2.1.3.2 - Componentes do húmus.....	7
2.1.3.3 - A matéria orgânica e a alteração mineral. Mineralogia da argila.....	9
2.1.4 - Importância da vegetação no <i>stock</i> de carbono no globo.....	10
2.1.4.1 - Considerações gerais.....	10
2.1.4.2 - Armazenamento de carbono nas florestas.....	11
2.1.4.3 - Efeito das perturbações dos ecossistemas no teor de carbono.....	12
2.1.4.4 - Efeito do carbono na vegetação.....	12
2.1.4.5 - Carbono no solo.....	14
2.1.5 - Propriedades físico-químicas do solo.....	14
2.1.5.1 - Propriedades físicas.....	15
2.1.5.1.1 - Estrutura e sua importância no comportamento do solo.....	15
2.1.5.1.1.2 - Factores de formação da estrutura.....	16
2.1.5.1.1.3 - Estabilidade estrutural.....	17
2.1.5.1.2 - Densidade aparente, porosidade e factores condicionantes.....	17
2.1.5.2 - Propriedades químicas.....	19
2.1.5.2.1 - Complexo de troca do solo.....	19
2.1.5.2.1.1 - Colóides minerais.....	20
2.1.5.2.1.2 - Colóides húmicos.....	21
2.1.5.2.2 - A vegetação e a reacção do solo.....	21
2.1.5.2.3 - Nutrição vegetal.....	24
2.1.5.2.3.1 - Absorção.....	25
2.1.5.2.3.2 - Retenção.....	26
2.1.5.2.3.3 - Restituição.....	27
2.1.5.2.3.4 - Importação.....	27
2.1.5.2.3.5 - Exportação.....	28
2.1.5.2.4 - Importância de alguns nutrientes na fisiologia das plantas.....	29
3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1 - SELECÇÃO DAS ÁREAS DE AMOSTRAGEM E DESCRIÇÃO GERAL DA ZONA EM ESTUDO.....	32
3.1.1 - Caracterização edafo-climática.....	33
3.1.1.1 - Temperatura.....	33
3.1.1.2 - Precipitação.....	34
3.1.1.3 - Classificação climática segundo Thornthwaite.....	34
3.2 - SOLOS E LITOLOGIA.....	36
3.2.1 - Perfis pedológicos representativos e descrição morfológica.....	36
3.3 - CARACTERIZAÇÃO DOS POVOAMENTOS E ESPÉCIES EM ESTUDO.....	39
3.3.1 - Historial dos povoamentos.....	39
3.3.2 - Breve referência à ecologia das espécies estudadas no caso português.....	40
3.3.2.1 - <i>Pinus pinaster</i> Ait.....	40
3.3.2.2 - <i>Pinus nigra</i> Arnold.....	40
3.3.2.3 - <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) variedade Franco.....	41
3.3.2.4 - <i>Castanea sativa</i> Miller.....	41
3.4 - RECOLHA DE AMOSTRAS NO CAMPO.....	42
3.4.1 - Recolha de amostras no horizonte orgânico.....	42
3.4.2 - Recolha de amostras nos horizontes minerais dos perfis.....	42
3.4.3 - Recolha de amostras para a determinação da densidade aparente.....	43
3.4.4 - Recolha de amostras para a determinação da estabilidade da agregação.....	43
3.5 - METODOLOGIA UTILIZADA.....	43

3.5.1 - Análises Físicas.....	43
3.5.1.1 - Densidade aparente e porosidade.....	43
3.5.1.2 - Estabilidade da Agregação.....	44
3.5.1.3 - Percentagem de elementos grosseiros.....	45
3.5.1.4 - Textura.....	45
3.5.1.5 - Colheita da fracção argila para identificação da sua mineralogia.....	45
3.5.2 - Análises Químicas.....	46
3.5.2.1 - Matéria mineral.....	46
3.5.2.1.1 - Carbono orgânico e Matéria orgânica.....	46
3.5.2.1.2 - Valores de pH.....	46
3.5.2.1.3 - Azoto total.....	46
3.5.2.1.4 - Fósforo e potássio assimiláveis.....	46
3.5.2.1.5 - Bases de troca.....	47
3.5.2.1.6 - Capacidade de troca catiónica potencial.....	47
3.5.2.1.7 - Acidez de troca e alumínio de troca.....	47
3.5.2.2 - Material vegetal.....	47
3.5.2.2.1 - Azoto e fósforo.....	47
3.5.2.2.2 - Cálcio, magnésio, potássio e enxofre.....	48
3.5.2.2.3 - Carbono orgânico e cinzas.....	48
3.5.3 - Identificação da mineralogia da argila.....	48
3.6 - PROGRAMA INFORMÁTICO UTILIZADO NO TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS.....	48
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1 - HORIZONTES ORGÂNICOS.....	49
4.1.1 - Biomassa dos horizontes orgânicos.....	49
4.1.2 - Concentração de elementos minerais nos horizontes orgânicos.....	51
4.1.2.1 - Cinzas.....	53
4.1.2.2 - Carbono.....	55
4.1.2.3 - Azoto.....	57
4.1.2.4 - Fósforo.....	60
4.1.2.5 - Potássio.....	62
4.1.2.6 - Cálcio.....	63
4.1.2.7 - Magnésio.....	65
4.1.2.8 - Enxofre.....	67
4.1.2.9 - Razão C/N.....	69
4.1.3 - Síntese de resultados.....	71
4.2 - HORIZONTES MINERAIS.....	72
4.2.1 - Morfologia.....	72
4.2.2 - Propriedades dos solos.....	73
4.2.3 - Horizonte Ah1.....	76
4.2.3.1 - Propriedades químicas.....	76
4.2.3.1.1 - Carbono total, Azoto total e Razão C/N.....	76
4.2.3.1.2 - Fósforo e Potássio assimiláveis.....	78
4.2.3.1.3 - Complexo de troca.....	79
4.2.3.1.3.1 - Soma de bases de troca, Acidez de troca e Reacção do solo.....	79
4.2.3.1.3.2 - Saturação em bases e Saturação em acidez.....	80
4.2.3.1.3.3 - Capacidade de troca catiónica potencial e Capacidade de troca catiónica efectiva.....	81
4.2.3.2 - Propriedades físicas.....	81
4.2.3.2.1 - Elementos grosseiros e lotes de terra fina.....	81
4.2.3.2.2 - Densidade Aparente e Porosidade.....	82
4.2.3.2.3 - Determinação da dapt e dapf.....	82
4.2.3.2.4 - Agregação.....	84
4.2.4 - Horizonte Ah2 e B.....	86
4.2.4.1 - Propriedades químicas.....	86
4.2.4.1.1 - Carbono total, Azoto total e Razão C/N.....	86
4.2.4.1.2 - Fósforo e Potássio assimiláveis.....	87
4.2.4.1.3 - Complexo de troca.....	88
4.2.4.1.3.1 - Soma de bases de troca, Acidez de troca e Reacção do solo.....	88
4.2.4.1.3.2 - Saturação em bases e Saturação em acidez.....	90
4.2.4.1.3.3 - Capacidade de troca catiónica potencial e Capacidade de troca catiónica efectiva.....	90
4.2.4.2 - Propriedades físicas.....	91

4.2.4.2.1- Elementos grosseiros e lotes de terra fina	91
4.2.4.2.2 - Agregação.....	92
4.2.5 - Parâmetros mais relevantes nas inter-relações solo-planta.....	93
4.2.5.1 - Matéria orgânica e sua composição.....	93
4.2.5.2- Azoto no solo.....	94
4.2.5.3 - Complexo de troca do solo e Reacção do solo.....	95
4.2.6 - Mineralogia da argila.....	97
4.2.6.1 - Distribuição dos minerais argilosos no perfil do solo.....	98
5 - CONCLUSÕES	99
BIBLIOGRAFIA	102
ANEXO.....	113

ÍNDICE FIGURAS

Fig. 1 - Esquema de localização dos povoamentos da área em estudo (Serra da Padrela) .	32
Fig. 2 - Distribuição anual da temperatura para a área em estudo (Serra da Padrela).....	33
Fig. 3 - Distribuição anual da precipitação para a área em estudo (Serra da Padrela).....	34
Fig. 4 - Distribuição anual da precipitação, evapotranspiração potencial e evapotranspiração real para a área em estudo (Serra da Padrela).....	35
Fig. 5 - Esquemas gráficos correspondentes aos perfis representativos para as espécies <i>P. pinaster</i> (a); <i>P. nigra</i> (b); <i>P. menziesii</i> (c); <i>C. sativa</i> (d).....	36
Fig. 6 - Esquema do sedimentador utilizado na determinação da estabilidade da agregação	44
Fig. 7 - Valor médio total de biomassa para as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	50
Fig. 8 - Teor em cinzas dos resíduos orgânicos das espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> , e <i>C. sativa</i> para as camadas O (a); L (b); F (c); H (d).....	54
Fig. 9 - Evolução do teor em cinzas com o processo de humificação.....	55
Fig. 10 - Concentração de C nos horizontes orgânicos das espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> , e <i>C. sativa</i> para as camadas O (a); L(b); F(c); H (d)	56
Fig. 11 - Evolução da concentração de C com o processo de humificação.....	57
Fig. 12. - Concentração de N nos horizontes orgânicos das espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> , e <i>C. sativa</i> para as camadas O (a); L(b); F(c); H (d)	58
Fig. 13. - Evolução da concentração de N com o processo de humificação	59
Fig. 14 - Concentração de P nos horizontes orgânicos das espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> , e <i>C. sativa</i> para as camadas O (a); L (b); F (c); H (d).....	60
Fig. 15 - Evolução da concentração de P com o processo de humificação	61
Fig. 16 - Concentração de K nos horizontes orgânicos das espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> , e <i>C. sativa</i> para as camadas O (a); L (b); F (c); H (d)	62
Fig. 17. - Evolução da concentração de K com o processo de humificação	63
Fig. 18 - Concentração de Ca nos horizontes orgânicos das espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> , e <i>C. sativa</i> para as camadas O (a); L (b); F (c); H (d).....	64
Fig. 19 - Evolução da concentração de Ca com o processo de humificação.....	65
Fig. 20 - Concentração de Mg nos horizontes orgânicos das espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> , e <i>C. sativa</i> para as camadas O (a); L (b); F (c); H (d).....	66
Fig. 21 - Evolução da concentração de Mg com o processo de humificação.....	67
Fig. 22 - Concentração de S nos horizontes orgânicos das espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> , e <i>C. sativa</i> para as camadas O (a); L (b); F (c); H (d)	68
Fig. 23 - Evolução da concentração de S com o processo de humificação	69
Fig. 24 - Razão C/N dos horizontes orgânicos das espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> , e <i>C. sativa</i> para as camadas O (a); L (b); F (c); H (d).....	70
Fig. 25 - Teor em C (a), N (b) e razão C/N (c) no horizonte Ah1 sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	77

Fig. 26 - Concentração de P_2O_5 e K_2O assimiláveis no horizonte Ah1 sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	78
Fig. 27 - Soma das bases de troca (SBT) e Acidez de troca (AT) no horizonte Ah1 sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	79
Fig. 28 - Valores de pH (H_2O) no horizonte Ah1 sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	80
Fig. 29 - Saturação em bases (GSB) e Saturação em acidez (GSA) no horizonte Ah1 sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	80
Fig. 30 - Capacidade de troca catiónica potencial (CTCp) e Capacidade de troca catiónica efectiva (CTCe) no horizonte Ah1 sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	81
Fig. 31 - Elementos grosseiros e lotes de terra fina no horizonte Ah1 nos solos sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	82
Fig. 32 - Porosidade (a) e densidade aparente (b) nos solos sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	83
Fig. 33 - Material agregado por classe de diâmetro no horizonte Ah1 sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	85
Fig. 34 - Teor em C (a) e N (b) nos horizontes Ah2 (a) e B (b) sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	87
Fig. 35 - Razão C/N nos horizontes Ah2 e B sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	87
Fig. 36 - Concentração de P_2O_5 e K_2O assimiláveis nos horizontes Ah2 (a) e B (b) sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	88
Fig. 37 - Soma das bases de troca (SBT) e Acidez de troca (AT) nos horizontes Ah2 (a) e B (b) sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	89
Fig. 38 - Valores de pH (H_2O) do solo nos horizontes Ah2 e B sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	89
Fig. 39 - Saturação em bases (GSB) e Saturação em acidez (GSA) nos horizontes Ah2 (a) e B (b) sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	90
Fig. 40 - Capacidade de troca catiónica potencial (CTCp) e Capacidade de troca catiónica efectiva (CTCe) nos horizontes Ah2 (a) e B (b) sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	91
Fig. 41 - Teor em elementos grosseiros e Lotes de Terra fina nos horizontes Ah2 (a) e B (b) sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	91
Fig. 42 - Material agregado por classe de diâmetro no horizonte Ah2 sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	92
Fig. 43 - Concentração em MO nos horizontes Ah1, Ah2 e B sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	93
Fig. 44 - Teor em N nos horizontes O, Ah1, Ah2 e B sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	95
Fig. 45 - Valores de pH (H_2O) nos horizontes Ah1, Ah2 e B sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	96
Fig. 46 - Capacidade de troca catiónica potencial (a) e capacidade de troca catiónica efectiva (b) nos horizontes Ah1, Ah2 e B sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	97

ÍNDICE QUADROS

Quadro 1 - Reserva global de carbono (ESWARAN <i>et al.</i> , 1993)	10
Quadro 2 - Balanço hídrico para a Serra da Padrela com os valores de temperatura e precipitação corrigidos.	35
Quadro 3 - Parâmetros dendrométricos dos povoamentos em 1995.....	39
Quadro 4 - Valores médios de biomassa por camada para as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	50
Quadro 5 - Teor em cinzas e concentração em elementos minerais no subhorizonte L de acordo com a natureza dos resíduos orgânicos.....	51
Quadro 6 - Teor em cinzas e concentração em elementos minerais no subhorizonte F de acordo com a natureza dos resíduos orgânicos	52
Quadro 7 - Teor em cinzas e concentração em elementos minerais no subhorizonte H. ...	52
Quadro 8 - Teor em cinzas e concentração em elementos minerais no conjunto dos três subhorizontes orgânicos.....	52
Quadro 9 - Valores médios de propriedades do solo no horizonte Ah1 (7 a 13 cm) sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	75
Quadro 10 - Valores médios de propriedades do solo no horizonte Ah2 (7 a 35 cm) sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	75
Quadro 11 - Valores médios de propriedades do solo no horizonte B (25 a 65 cm) sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	76
Quadro 12 - Porosidade e densidade aparente no horizonte Ah1 sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	83
Quadro 13 - Material agregado de diferentes dimensões no horizonte Ah1, expressos em % do total em solo seco.	85
Quadro 14 - Avaliação da estabilidade estrutural (VALLS e DÍAZ, 1993).....	86
Quadro 15 - Material agregado de diferentes dimensões no horizonte Ah2, expressos em % do total em solo seco.....	92
Quadro 16 - Profundidade, teor em matéria orgânica e razão C/N nos horizontes Ah1, Ah2 e B.....	93
Quadro 17 - Mineralogia da argila nos solos sob as espécies <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. menziesii</i> e <i>C. sativa</i>	97

1 - INTRODUÇÃO

Movido por interesses fundamentalmente de ordem económica, os bosques autóctones de folhosas que constituem a vegetação climácica da maior parte da Península Ibérica, foram substituídos por outras espécies florestais, nomeadamente coníferas, processo em que os incêndios tiveram um papel preponderante. Ainda que esta substituição possa ter consequências benéficas sob o ponto de vista económico, considera-se fundamental conhecer os efeitos produzidos sobre a pedogénese, consequências nas propriedades do solo e na sua conservação.

Com efeito, a natureza do coberto vegetal, através da folhada produzida e do microclima que condiciona, assume elevada importância no tipo de matéria orgânica formada, a qual por sua vez é determinante de uma série de processos que intervêm na pedogénese, na evolução do solo e directa e indirectamente na nutrição vegetal. Nos ecossistemas florestais, a folhada acumulada à superfície do solo representa, juntamente com o fornecimento pela decomposição das raízes, a fonte essencial de energia, carbono, azoto, fósforo e outros bioelementos para a microflora e mesofauna, assim como uma quantidade de nutrientes facilmente disponíveis e reutilizados pela vegetação (RAPP e LEONARDI, 1988). As múltiplas influências da matéria orgânica no solo (alteração mineral, complexação de iões metálicos, adsorção de catiões, reacção do solo, actividade biológica, fornecedor de nutrientes, retenção de água, formação e estabilização da agregação, etc.) determinam grandemente o comportamento do solo e o seu processo evolutivo. Por outro lado, a existência de coberto arbóreo modifica o balanço de energia à superfície do solo. De um modo geral, o coberto arbóreo protege o solo das temperaturas excessivamente elevadas no Verão, devido à intercepção de parte da radiação solar, reduzindo também a taxa de perda de calor do solo durante o Inverno (COSTA, 1985; PRITCHETT e FISHER, 1987). O coberto arbóreo actua também sobre a precipitação, regularizando-a e limitando o seu impacto sobre o solo, o que se manifesta numa redução dos processos erosivos.

O solo pode considerar-se como uma interface entre o mundo vivo e o mundo mineral (DUCHAUFOR e TOUTAIN, 1986) o que é especialmente válido para as camadas superficiais do mesmo (MARTÍ *et al.*, 1993).

O presente trabalho tem como objectivo, estudar a influência das espécies florestais sobre a pedogénese, através do estudo dos horizontes orgânicos e das propriedades físico-químicas de solos desenvolvidos sob coberto de quatro espécies florestais (*Pinus pinaster*, *Pinus nigra*, *Pseudotsuga menziesii* e *Castanea sativa*), detectar diferenças e interpretar as possíveis causas e tendência evolutiva.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - A NATUREZA DA VEGETAÇÃO E INFLUÊNCIA NO SOLO

A vegetação constitui a principal fonte de resíduos da fracção orgânica do solo, pelo que é de esperar que afecte de forma mais ou menos marcada o teor e propriedades da matéria orgânica, através da maior ou menor quantidade de biomassa produzida e das características da mesma. Entre os organismos, a vegetação é considerada como o elemento principal na pedogénese, resumindo-se as suas principais acções, nesse processo, aos seguintes aspectos: formação de matéria orgânica e de complexos organo-minerais, reciclagem de nutrientes e troca de catiões.

A pedogénese é o conjunto dos processos biológicos, bioquímicos e físico-químicos que em ligação com o meio, rege a formação e evolução do solo (DUCHAUFOR, 1993). Os factores que influenciam a génese dos solos são fundamentalmente o clima, a vegetação, a natureza da rocha-mãe e os factores geomorfológicos do relevo, que ao favorecerem os fenómenos de erosão ou a localização de ganho de sedimentos, podem impedir ou retardar a total evolução dos solos (GANDULLO e SANCHEZ-PALOMARES, 1976).

Nos ecossistemas florestais os processos de transformação e incorporação de matéria orgânica no solo, intervêm na alteração das rochas, nos ciclos biogeoquímicos dos elementos e na formação dos complexos organo-minerais, tornando-se importantes na orientação da pedogénese (DE PEDRO e PAVON, 1983). O húmus mais activo, *mull*, contraria os processos de alteração e de arrastamento, armazenando o azoto e as bases de troca, o que tem o efeito de atenuar a acidificação do solo. Pelo contrário, o húmus pouco activo, *moder* e *mor*, forma uma camada pouco decomposta à superfície, liberta compostos solúveis "agressivos" e acidificantes que aceleram os fenómenos de alteração e favorecem o arrastamento de catiões sob a forma de complexos.

A evolução simultânea do solo e da vegetação permite estabelecer um paralelismo entre o desenvolvimento dos perfis edáficos e a sucessão fitossociológica (DE PEDRO, 1989). O solo até atingir o equilíbrio dinâmico (equilíbrio com a vegetação), passa por uma série de etapas que se designam por evolução progressiva. Neste processo evolutivo destaca-se a importância da vegetação, quer na manutenção do equilíbrio biológico em interacção com a microflora e a fauna, quer no equilíbrio bioquímico através da humificação e do ciclo biogeoquímico. A vegetação climática por meio do ciclo biogeoquímico, é capaz de modificar as propriedades que seriam de esperar encontrar em certos solos, de acordo com a composição geoquímica do material originário, homogeneizando as características do perfil edáfico (DE PEDRO, 1989).

2.1.1 - Morfologia do perfil do solo

Dadas as condições de manejo e a natureza da vegetação sob a qual os solos se desenvolvem, os solos florestais apresentam características que os distinguem nitidamente dos solos agrícolas. Nos primeiros, a exportação de biomassa é menor o que, normalmente, permite a formação de horizontes orgânicos bem desenvolvidos e conseqüentemente uma maior conservação da matéria orgânica, que por sua vez influencia positivamente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Por outro lado, sendo os seus sistemas radiculares mais profundantes, permitem uma maior alteração mineral e uma maior translocação de elementos de camadas mais profundas.

Os ecossistemas florestais apresentam melhor proteção contra a erosão hídrica e eólica e melhor regularização do ciclo hidrológico. A reciclagem de elementos e a sua conservação no meio é mais eficiente e as amplitudes térmicas são menores o que favorece a atividade biológica, a conservação da humidade e matéria orgânica.

A existência de horizontes orgânicos e de cores mais escuras face a maior percentagem de carbono nos horizontes minerais, são os reflexos mais visíveis sobre a morfologia do perfil de solos florestais.

2.1.2 - Horizontes orgânicos

Os restos vegetais (folhas, ramos inflorescências, etc.) acumulam-se à superfície do solo formando as camadas orgânicas designadas globalmente por horizonte O, e que no seu desenvolvimento máximo compreende três subhorizontes: L, F e H (RANGER e BONNEAU, 1984).

O subhorizonte L é constituído por material fresco levemente descolorido (WESEMAEL, 1993) morfologicamente intacto com idade até dois ou mais anos conforme as espécies (TOUTAIN *et al.*, 1988). Este subhorizonte constitui a maior fonte de reservas orgânicas do solo.

O subhorizonte F é a zona imediatamente subjacente constituindo uma camada de fermentação (RANGER e BONNEAU, 1984). Os materiais orgânicos estão parcialmente decompostos, mas suficientemente bem preservados permitindo a identificação da sua origem (PRITCHETT e FISHER, 1987). As folhas e agulhas estão aderentes umas às outras por intermédio de filamentos micélicos das micorrizas (TOUTAIN *et al.*, 1988) e apresentam à superfície dejetos de animais (WESEMAEL, 1993).

O subhorizonte H compreende material orgânico amorfo com muitos excrementos de animais e micorrizas (WESEMAEL, 1993). Apresenta baixa coerência e transição gradual para o horizonte mineral A (TOUTAIN *et al.*, 1988), contendo considerável quantidade de matéria mineral (PRITCHETT e FISHER, 1987).

O ritmo de queda dos resíduos vegetais tem um comportamento diferente de espécie para espécie. A queda de agulhas, folhas e inflorescências, segue um ritmo mensal que se mantém de ano para ano (RAPP, 1984), com alguma oscilação consoante as condições climáticas. No caso em estudo, observam-se picos de maior queda de folhada em Julho, Agosto e Setembro com máximos em Agosto para a espécie *P. pinaster*, Agosto, Setembro e Outubro com máximos em Setembro para a espécie *P. nigra*, Setembro, Outubro e Novembro com máximos em Outubro para a espécie *P. menziesii* e Outubro e Novembro com máximos em Novembro para a espécie *C. sativa* (MARTINS, 1997). Pelo contrário, a queda de raminhos ou de pequenos ramos é aleatória. Resulta em grande parte da interferência de perturbações físicas, tais como ventos violentos ou trovoadas e chuvas intensas (RAPP, 1984).

A passagem dos resíduos orgânicos ao estado de húmus é o resultado de um complexo processo bio-físico-químico, em que a actividade simultânea ou sucessiva dos diferentes grupos funcionais que constituem a fauna e a microflora do solo tem um papel relevante (MERZOUKI *et al.*, 1989). A velocidade de decomposição está essencialmente dependente da composição química dos resíduos orgânicos, particularmente das concentrações iniciais de N e lenhina (BERG e STAAF, 1981; MELILLO *et al.*, 1982; BERG, 1988 citados por BOCKHEIM *et al.*, 1991) e das condições ambientais, nomeadamente temperatura, humidade e fertilidade do solo. MARTINS (1997) verificou para as espécies em estudo, perda de peso anual das folhas de 41,7 % para a espécie *C. sativa*, 29,7 % para a espécie *P. menziesii*, 18,3 % para a espécie *P. pinaster* e 15,3 % para a espécie *P. nigra*. Segundo AZEVEDO (1997), as agulhas da espécie *P. menziesii* são as que apresentam maior teor em lenhina, por outro lado, são também as que apresentam maior quantidade de compostos energéticos, pelo que a sua perda de peso anual é bastante superior à verificada para as outras resinosas, *P. pinaster* e *P. nigra*.

A razão lenhina/N e a razão C/N dão indicação da possibilidade de libertação de N dos resíduos orgânicos e da taxa de decomposição. De acordo com VIQUEIRA *et al.* (1982):

- (1) Os tecidos vegetais com razão C/N inferior a 25 decompõem-se rapidamente e libertam ao mesmo tempo uma forte proporção de N mineral;
- (2) As camadas orgânicas das espécies florestais com razão C/N média, 30 - 45, decompõem-se mais lentamente e libertam pouco N mineral originando húmus muito diferentes, segundo as condições do meio mineral;
- (3) As camadas orgânicas de espécies com razão C/N elevadas, superiores a 45, (a maior parte das resinosas, ericáceas) decompõem-se muito lentamente e originam, geralmente, um húmus *mor* que não liberta N mineral.

Assim, a velocidade de decomposição biológica dos resíduos pode ser mais lenta ou mais rápida, conforme a natureza dos resíduos vegetais produzidos. De um modo geral, é aceite que os resíduos orgânicos de espécies resinosas decompõem-se mais lentamente,

devido aos compostos polifenólicos não hidrolizáveis da folhada acicular produzida complexarem as proteínas, impregnarem as membranas celulares e protegerem a celulose, resultando num atraso da decomposição por microorganismos celulíticos e hemicelulíticos, acabando na formação de húmus do tipo *mor* ou *mull ácido* que liberta muito pouco azoto mineral. Contrariamente, resíduos de espécies folhosas decompõem-se mais rapidamente, devido à existência de compostos fenólicos solúveis, formando húmus do tipo *mull* ou *moder*.

A libertação de nutrientes a partir dos resíduos orgânicos é essencial para o crescimento vegetal e para manter a fertilidade dos solos florestais (PRESCOTT *et al.*, 1993).

Em trabalho paralelo sobre decomposição de folhada, MARTINS (1997) observou que a resinosa *P. menziesii* aproxima-se muito do comportamento da folhosa *C. sativa*, pelo que estes conceitos não podem ser generalizados a todas as resinosas.

De acordo com DUCHAUFOR (1977), o tipo de húmus formado integra perfeitamente as condições do meio e da vegetação e com frequência exerce uma acção determinante sobre a evolução dos horizontes minerais.

2.1.3 - Matéria orgânica

A matéria orgânica do solo é formada por uma mistura de resíduos vegetais e animais em diferentes estados de decomposição, substâncias libertadas a partir da actividade dos organismos vivos e microorganismos vivos que não é possível separar e distinguir do material originário morto (COSTA, 1985; MERZOUKI *et al.*, 1989; SCHNITZER, 1991).

O ganho de resíduos a partir das plantas, constitui a via mais importante de restituição de matéria orgânica ao solo (MERZOUKI *et al.*, 1989; LEONARDI *et al.*, 1988). De um modo geral, as gimnospérmicas apresentam produtividade superior às angiospérmicas (BRAY, 1972; RAPP, 1984). Assim, a acumulação de resíduos no solo é frequentemente mais elevada para as resinosas que para as folhosas. O nível de matéria orgânica nos solos tem mostrado que é o mais importante indicador da fertilidade nos solos (OBATOLU e AGBOOLA, 1994). Baseado na importância da matéria orgânica na fertilidade do solo OBATOLU (1991) citado por OBATOLU e AGBOOLA (1994) realçou o papel desta no controle da poluição dos solos agrícolas. A actividade dos colóides orgânicos, especialmente as substâncias húmicas como despoluentes é atribuída à grande área superficial e às cargas negativas (CREMYLN, 1980 citado por OBATOLU e AGBOOLA, 1994).

De acordo com o critério químico de classificação da matéria orgânica, COSTA (1985) refere três grupos fundamentais: material originário do húmus, substâncias que acompanham o húmus e húmus. A passagem dos resíduos orgânicos (material originário do húmus) ao estado de húmus, é o resultado da actividade dos diferentes grupos funcionais constituintes da fauna e microflora do solo, que por sua vez está dependente da quantidade e qualidade de

resíduos orgânicos frescos e das condições pedoclimáticas (MERZOUKI *et al.*, 1989). As substâncias húmicas representam 70 a 80% da matéria orgânica total do solo (ARIAS *et al.*, 1993) e mostram grande estabilidade e actividade química o que justifica que geralmente se atribua ao húmus a maior parte da responsabilidade na influência da matéria orgânica nas propriedades do solo.

Além das influências no solo, a matéria orgânica constitui a maior reserva de CO₂, actuando como um regulador deste gás na atmosfera, segundo as mudanças climáticas.

2.1.3.1 - Humificação

Em sentido amplo, o termo húmus refere-se a produtos orgânicos complexos, com elevada resistência à decomposição. Estas substâncias húmicas tendem a ser muito estáveis, com cor escura, com propriedades coloidais, e geralmente associadas com os constituintes minerais do solo (COSTA, 1985; GREEN *et al.*, 1993).

O processo que envolve a formação do húmus denomina-se humificação e ocorre essencialmente em duas fases (COSTA, 1985; DUCHAUFOR, 1977; DE PEDRO e PAVON 1983; GREEN *et al.*, 1993):

- Inicialmente os resíduos orgânicos existentes no solo são rapidamente atacados pela macrofauna e microfauna, sofrendo alterações mais ou menos profundas e variadas. Ocorre a libertação de uma grande variedade de produtos para o meio: açúcares, ácidos orgânicos, aminoácidos, proteínas, péptidos, celulose, lenhina, resinas, etc (MARTINS, 1992 baseado em vários autores). Esta primeira fase designa-se de humificação biológica (DUCHAUFOR, 1977).
- Segue-se uma redução da actividade microbiana do solo com libertação de produtos simples (nitratos e sulfatos) e aumento de compostos resistentes à decomposição provenientes de resíduos orgânicos (lenhina, hidratos de carbono, resinas, óleos) e de processos complexos de neoformação biológica (polissacarídeos e poliurenóides) (DE PEDRO e PAVON, 1983; MARTINS, 1992). Estes dois últimos grupos de constituintes após sofrerem reagrupamento, condensação, polimerização e ligação a cadeias de péptidos e sacarídeos originam o húmus. A esta segunda fase DUCHAUFOR (1977) e GREEN *et al.* (1993), designam de maturação do húmus.

As características da matéria orgânica do solo encontram-se condicionadas por vários factores que determinam o sentido em que ocorrem as transformações dos resíduos orgânicos incorporados no solo. As temperaturas baixas e sobretudo, a presença de vegetação de

gimnospérmicas, parece condicionar em elevado grau a evolução do húmus. Quando os processos de humificação são presididos pelo metabolismo dos microorganismos aeróbios, os diversos tipos de compostos orgânicos experimentam, de um modo geral, uma transformação profunda, sendo biodegradados parcialmente em moléculas mais simples, que em conjunto com os compostos hidrossolúveis e os produtos de síntese microbiana, dão origem a uma série de polímeros húmicos de elevado tamanho molecular (ALMENDROS *et al.*, 1983). Nos casos em que as condições do meio ou as características da vegetação não são favoráveis à completa transformação da matéria orgânica, os constituintes dos resíduos vegetais são apenas em parte modificados, acumulando-se variados tipos de compostos linho-protéicos resistentes à biodegradação, formados a partir de substâncias insolúveis provenientes directamente da vegetação (ALMENDROS *et al.*, 1983).

VEDY (1973), TOUTAIN (1974) e GUILLET *et al.* (1975) citados por DE PEDRO (1989) referem que a possibilidade de formação de húmus que induz ou confere propriedades favoráveis ao solo, húmus do tipo *mull*, está condicionada em primeiro lugar, pela composição geoquímica do material originário, fixando-se como exigência em meio ácido uma proporção mínima de 7% de argila e 0,5% de ferro activo (ferro ligado à argila fina), e em segundo lugar, pelas associações vegetais. ALMENDROS e VELASCO (1984) verificaram sobre margas siliciosas e conglomerados, a formação de húmus tipo *moder* sob vegetação de folhosas e húmus tipo *mor* sob vegetação de coníferas autóctones, devido à insuficiente proporção de argila do meio mineral.

2.1.3.2 - Componentes do húmus

Sendo o húmus o produto final de uma grande variedade de materiais que lhe deram origem, é de assinalar uma notável uniformidade dos seus constituintes. Este facto será o resultado de só um número baixo de compostos do material original resistirem à humificação, acabando o húmus por se formar a partir de unidades elementares muito semelhantes. Diferentes tipos de húmus podem apresentar variações no arranjo e frequência de certos radicais característicos, mas não na sua estrutura global (BOLT e BRUGGENWERT, 1978 citado por COUTINHO, 1989).

Quimicamente o húmus é muito complexo, podendo no entanto, ser subdividido em fracções mais simples. DUCHAUFOR (1977) e COSTA (1985) distinguem três fracções: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e humina.

Os ácidos húmicos são constituídos, fundamentalmente, por carbono, oxigénio, hidrogénio e azoto. Estes constituintes apresentam variações regulares reflectindo as condições naturais sob as quais o húmus se formou. Dentro dos AH distinguem-se os ácidos hematomelâmicos, ácidos húmicos pardos e ácidos húmicos cinzentos. Os primeiros são

considerados as formas mais simples, os ácidos húmicos pardos são pouco condensados, fracamente ligados às argilas e exibem baixo grau de floculação com o Ca^{2+} mesmo em concentrações elevadas. Pelo contrário, os ácidos húmicos cinzentos são fortemente condensados, ligados fortemente à argila e floculam rapidamente com o Ca^{2+} , mesmo a baixa concentração. Apresentam grande estabilidade e elevada resistência à biodegradação (DUCHAUFOR, 1977).

Os AF são muito semelhantes aos AH, existindo, no entanto, algumas diferenças entre eles:

- (i) AH mais condensados, cores mais escuras, maior teor em carbono e azoto e peso molecular mais elevado.
- (ii) acidez total e teor de grupos COOH bastante superior nos AF.
- (iii) os grupos COOH são os principais responsáveis pela existência de cargas negativas à superfície dos compostos húmicos, pelo que a electronegatividade é mais elevada para os AF, podendo a capacidade de troca atingir valores da ordem dos 300 a 600 cmol (+) kg^{-1} nos AH, e acima de 1000 cmol (+) kg^{-1} no caso dos AF (HYES e HIMES 1986 citado por MARTINS, 1992).
- (iv) AF mais fracamente ligados à fracção mineral e com inferior peso molecular relativo, pelo que apresentam maior mobilidade no solo.

A humina está fortemente ligada aos minerais de argila (COSTA, 1985), e representa cerca de 50 a 70% da matéria orgânica total (DUCHAUFOR, 1977). Parece ser a fracção húmica de menor carga e de maior peso molecular (HYES e HIMES 1986 citado por MARTINS, 1992).

As fracções do húmus apresentam uma grande homogeneidade da estrutura: são basicamente formadas por anéis aromáticos, sensivelmente esféricos, resultantes da policondensação de compostos fenólicos ou quinonas, envolvidos por cadeias mais ou menos ramificadas formadas à base de péptidos e sacáridos. A estrutura aromática parece aumentar das fracções menos condensadas (AF) para as mais condensadas (AH) (SCHEFFER e SCHLUTER, 1959 citados por DUCHAUFOR, 1977).

Os AH são os principais componentes das substâncias húmicas do solo. Dada a sua relativa imobilidade, principalmente quando se unem a metais polivalentes como ferro e alumínio, estes tendem a associar-se com os componentes minerais do solo o que tem uma importância relevante na formação da estrutura (ARIAS *et al.*, 1993).

2.1.3.3 - A matéria orgânica e a alteração mineral. Mineralogia da argila

Os compostos húmicos são constituídos por quantidades elevadas de grupos funcionais com oxigénio (carboxilos, enólicos e fenólicos) que, por acidificação do meio, contribuem para a alteração dos minerais do solo através da complexação e dissolução de metais, proporcionando que estes metais se mantenham em solução e sejam transportados no perfil do solo, os quais, de outro modo, precipitariam. Estes aspectos são particularmente importantes na génese de solos de regiões de clima húmido.

STEVENSON e FITCH (1986), referem que os ácidos orgânicos e o ácido carbónico são os principais agentes de transporte de catiões no solo sob coberto florestal.

Os AF são especialmente activos relativamente à capacidade de complexação e dissolução de metais e respectivo transporte no solo e na água (MARTINS, 1992 segundo vários autores), face ao seu elevado teor de grupos funcionais com oxigénio, baixa massa molecular relativa e maior solubilidade em água. No que respeita aos AH, estes através da acidez e capacidade complexante conduzem à degradação de muitas rochas e minerais.

Como os compostos húmicos representam elevada fracção da matéria orgânica do solo, nomeadamente os AF e AH, TAN (1986) refere que, de um modo geral, estes ácidos podem ser considerados mais importantes na degradação dos minerais do que os ácidos orgânicos não humificados.

DUCHAUFOUR (1977) apoiado em outros autores (ROBERT, 1970; RAZZAGHE, 1973; BOYLE *et al.*, 1974), salienta o papel activo dos compostos orgânicos na alteração mineral em clima temperado, de que destaca a hidrólise ácida causada por aqueles compostos sobre a alteração dos minerais micácios. No decorrer do processo, estes minerais sofrem um tipo de alteração durante a qual, ocorre a eliminação de iões K^+ interfoliares, abertura dos folhetos e transformação de ilites em vermiculites abertas. Estas vermiculites podem evoluir para vermiculites aluminosas por entrada nas posições interfoliares de Al^{3+} , resultante da própria alteração das micas e feldspatos.

Assim, a formação de minerais da fracção argilosa é diferente nos horizontes de alteração, comparada com os horizontes superficiais, devido à maior presença de compostos orgânicos nestes últimos, que conferem maior acidez e maior actividade complexante ao meio (MACIAS-VASQUEZ *et al.*, 1982). Sendo a argila a fracção mais fina do solo, corresponde ao ponto culminante de todo o processo de alteração mineral. Da sua composição depende o seu próprio comportamento e as propriedades que comunica ao solo. Com base nestas razões, procedeu-se ao estudo da fracção argilosa face à possibilidade de melhor interpretar as propriedades reveladas pelo mesmo.

Estudos anteriores desenvolvidos em áreas idênticas, revelam como minerais argilosos dominantes a caulinite, ilite e vermiculite. A caulinite é frequentemente considerada um produto de neoformação, mas também pode formar-se directamente a partir de biotite em

solos de zonas húmidas. Embora seja um mineral muito estável, pode alterar-se e formar gibbsite, o que corresponde a uma meteorização intensa. A presença de illite é comum em regiões de clima temperado, onde a alteração é moderada. Forma-se a partir de minerais micáceos, por perda de K^+ e hidratação. A vermiculite é um produto intermédio da alteração das micas.

O grau de evolução dos minerais está relacionado com a intensidade de lavagem da sílica. Quando a lavagem é fraca predominam minerais do tipo 2:1, quando é forte predominam minerais do tipo 1:1 e quando é muito forte predominam os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.

A presença de vermiculite é nítida no início da alteração e vai desaparecendo com o aumento de proporção de caulinite. A vermiculite é o produto mais comum de transformação da biotite em regiões temperadas, ocorrendo nesta situação a caulinite como mineral secundário ligado apenas a plagioclases e raramente à biotite.

2.1.4 - Importância da vegetação no stock de carbono no globo

2.1.4.1 - Considerações gerais

A concentração de carbono na atmosfera tem vindo a aumentar (BODEN *et al.*, 1990 citado por OWENBY *et al.*, 1994) e estima-se que passe para o dobro no próximo século (ROCHEFORT e BAZZAZ, 1992; OWENBY *et al.*, 1994). Este aumento do nível do carbono tem chamado a atenção para o elevado interesse do papel dos ecossistemas florestais no ciclo global do carbono.

Os reservatórios de carbono à superfície da terra compreendem a biomassa, o carbono orgânico e inorgânico nos solos, lagos, rios e superfícies oceânicas, actuando reciprocamente com a atmosfera, o que afecta por sua vez o teor de CO_2 (SCHNITZER, 1991).

Quadro 1 - Reserva global de carbono (ESWARAN *et al.*, 1993)

Reservatório	Carbono (Pg)
• Terrestre	
biomassa vegetal	550
solos	1500
• Atmosfera	750
• Oceanos	38000
• Geológico (combustíveis fósseis)	4000
Total	44800

O equilíbrio do carbono no planeta Terra depende destes reservatórios, e o carbono armazenado na vegetação está em equilíbrio dinâmico.

A perspectiva do aumento da quantidade de carbono na atmosfera tem generalizado o interesse nas estratégias de redução das emissões ou contrabalançar essas emissões por armazenamento adicional nas florestas ou noutros reservatórios terrestres (INTERGOVERNAMENTAL PAINEL ON CLIMATE CHANGE; 1991 citado por BIRDSEY *et al.*, 1993). O enriquecimento da atmosfera em carbono conduz à estimulação da mineralização da matéria orgânica do solo (ROUHIER *et al.*, 1994), ocorrendo durante o processo libertação através da respiração dos microorganismos (PEREIRA, 1978).

Os solos de ecossistemas florestais constituem a maior reserva de carbono na biosfera terrestre (ROUHIER *et al.*, 1994), o que torna importante avaliar a interacção de elevadas concentrações de carbono com os processos de decomposição da matéria orgânica e com as suas reservas (COTRUFO *et al.*, 1994). VAN VEEN *et al.* (1991) refere que os efeitos directos do aumento dos níveis na atmosfera sobre os processos do solo, são provavelmente pouco importantes, devido à elevada concentração de carbono no solo.

Em ecossistemas terrestres o carbono libertado pelo solo tem origem, principalmente, na actividade da microflora e do sistema radicular e nos carbonatos (VERDIER, 1975). A quantidade libertada é função do *stock* de carbono facilmente mineralizado e da temperatura e humidade, que são factores limitantes durante a estação seca e afectam estritamente a actividade respiratória que aí tem lugar (MERZOUKI *et al.*, 1990). Vários estudos têm demonstrado que existe uma estimulação da actividade respiratória na Primavera e no Verão e um decréscimo no Outono e Inverno (CABRAL, 1982; MERZOUKI *et al.*, 1989).

2.1.4.2 - Armazenamento de carbono nas florestas

A expansão das áreas florestais e a maturação das florestas são as bases necessárias à função de reservatório de carbono dos ecossistemas florestais (DELCOURT e HARRIS, 1980 citado por LUGO e BROWN, 1992).

Estes ecossistemas armazenam grandes quantidades de carbono na madeira sólida e na restante biomassa podendo este ser retido por longos períodos de tempo em materiais duráveis (mobiliário, painéis, etc).

Durante o crescimento, as florestas jovens acumulam carbono a taxas elevadas, enquanto que nas florestas adultas há um equilíbrio entre a acumulação e a libertação. A quantidade de carbono correntemente armazenada nos ecossistemas florestais dos E.U.A. é aproximadamente $52,5 \cdot 10^5$ g, o que representa 4% do total de carbono armazenado nas florestas do mundo (AJTAY *et al.*, 1979 citado por BIRDSEY *et al.*, 1993).

Ao nível do ecossistema, o carbono da atmosfera é fixado pelas plantas e flui ao longo da cadeia trófica voltando à atmosfera devido à respiração das plantas e animais e à mineralização da matéria orgânica (PEREIRA, 1978).

2.1.4.3. - Efeito das perturbações dos ecossistemas no teor de carbono

As perturbações nas florestas podem adicionar carbono à atmosfera, através do fogo, desflorestação, deterioração ou morte das árvores e decomposição da biomassa morta.

Quando ocorrem incêndios, ou quando se procede à desarborização, cerca de 1/4 da reserva de carbono dos solos volta para a atmosfera (PEARCE, 1989). Em ecossistemas florestais, VITOUSEK (1983) estimou que a desflorestação introduz uma redução do *stock* de carbono orgânico em cerca de 50% das quantidades inicialmente presentes. Igualmente, MERZOUKI *et al.* (1990) verificou que dois anos após um corte, o *stock* orgânico do solo baixou cerca de 30%. BROWN e LUGO (1984) citados por ESWARAN *et al.* (1993) referem que nos trópicos, a desflorestação resulta numa perda de 20 a 50% do carbono armazenado, resultando muitas destas perdas da erosão dos horizontes superficiais ricos em matéria orgânica. Apesar destes resultados, a dinâmica do carbono orgânico é ainda pouco conhecida nos ecossistemas perturbados.

A elevada quantidade de detritos orgânicos que é normal acumular-se à superfície dos solos de florestas virgens, não é possível nos solos de plantações modernas. A maioria das árvores de plantações recentes são cortadas muitas décadas antes de atingirem a maturidade.

A substituição de espécies é também muitas vezes encarada como uma fonte de carbono. Por exemplo, os povoamentos de abetos vermelhos nas terras altas da Escócia, contêm talvez apenas 1/3 de carbono por hectare do que se poderia encontrar nas antigas florestas de carvalhos. O seu rápido crescimento indica que estas árvores retiram uma grande quantidade de carbono do ar, mas, as curtas rotações, também indicam que ele não leva muito tempo a voltar de novo para a atmosfera (PEARCE, 1989).

2.1.4.4. - Efeito do carbono na vegetação

Trabalhos realizados em ecossistemas florestais têm mostrado que espécies de ecossistemas idênticos ou do mesmo ecossistema diferem consideravelmente na resposta à elevação do teor de carbono (ROCHEFORT e BAZZAZ, 1992). Como respostas incluem-se mudanças na taxa fotossintética, uso da água, crescimento, reprodução e estão registadas em cereais, árvores e muitas plantas de ecossistemas naturais. Em alguns ecossistemas estas diferenças na resposta resultam em mudanças na capacidade competitiva das espécies.

De acordo com vários autores, as taxas de fixação de carbono em plantas C3, geralmente mostram uma notável resposta ao aumento dos níveis de carbono em comparação com as taxas em plantas C4, havendo assim um aumento da produtividade das primeiras em relação às segundas. No entanto, OECHEL e STRAIN (1985) referem num estudo realizado em ecossistemas de plantas ciperáceas da Tundra Ártica, que inicialmente ocorria uma resposta ao enriquecimento em carbono com aumento da produtividade, mas este aumento desaparecia dentro do primeiro ano. Assim, é razoável pensar que ocorreu uma aclimação da resposta do mecanismo da fotossíntese (OWENSBY *et al.*, 1994). As limitações de nutrientes invalidam qualquer aumento da produtividade a longo prazo em meios ricos em carbono (OWENSBY *et al.*, 1994).

O enriquecimento da atmosfera em carbono causa reduções na concentração de azoto nos tecidos vegetais mesmo com azoto suplementar (OWENSBY *et al.*, 1994). A diminuição da concentração de azoto na biomassa aérea e subterrânea, pode tornar o ciclo deste nutriente mais lento e limitar a taxa de decomposição dos resíduos orgânicos.

Aparentemente, o crescimento de plantas sob condições em que o azoto é factor limitante, o sistema radicular tem um bom desenvolvimento, mas o desenvolvimento da parte aérea é afectado negativamente (THOUGHTON, 1957 citado por ZAGAL, 1994). Resultados obtidos por OWENSBY (1994), numa pradaria, mostram que a produção de biomassa sob elevação do teor de carbono atmosférico e com fertilização de azoto é de 24% contra 16% onde não se efectuou fertilização. Em ecossistemas florestais as concentrações inferiores de azoto nas plantas podem conduzir a deficiências de nutrientes.

Segundo ROUHIER *et al.* (1994), a mais importante modificação nos tecidos das plantas é o progressivo decréscimo da concentração de azoto com o aumento do teor de carbono, levando a um aumento da razão C/N. Este incremento da razão C/N tem sido atribuído à pobreza do conteúdo mineral do solo. Também COTRUFO *et al.* (1994) sugerem que o carbono induz uma redução da concentração de azoto na planta, mas a dimensão deste fenómeno depende da aceleração do crescimento das plantas. A resposta das plantas a um enriquecimento em carbono é largamente afectada pelo estado dos nutrientes no solo e pelas interações entre os níveis de carbono e a fertilização do solo.

A qualidade do substrato orgânico tem sido reconhecida como um dos mais importantes factores de regulação dos processos de decomposição e dos parâmetros como a concentração de azoto, razão C/N e razão lenhina/N que têm uma importância crucial na referida taxa de decomposição.

COTRUFO *et al.* (1994), verificaram que a concentração de lenhina e as razões C/N e lenhina/N eram afectadas de forma significativa num tratamento enriquecido em carbono. Os detritos desenvolvidos sob elevada concentração de carbono mostraram um aumento nestes parâmetros quando comparados com os respectivos controlos.

2.1.4.5 - Carbono no solo

A maior parte do carbono orgânico presente na superfície terrestre do globo faz parte de um reservatório de armazenamento constituído por húmus e turfas recentes, biomassa perene e biomassa em rápida circulação (PEREIRA, 1978).

O carbono orgânico do solo constitui um compartimento de armazenamento a longo prazo, verificando-se também a longo prazo perdas associadas com a conversão das florestas em agricultura permanente (EWEL *et al.*, 1981 citado por LUGO e BROWN, 1992).

Muitos estudos têm mostrado considerável variabilidade no carbono orgânico nas diferentes classes de solo. Considera-se que o total armazenado nos solos do mundo é de 1576 Pg, e cerca de 32% desta quantidade encontra-se nos trópicos (ESWAEAN *et al.*, 1993).

O carbono do solo tem sido utilizado como indicador da actividade biológica e compreensão do seu ciclo nos ecossistemas.

2.1.5 - Propriedades físico-químicas do solo

Para determinados autores, pode distinguir-se nitidamente entre espécies “construtivas” e “destrutivas”, sendo estas últimas factores importantes em processos como a podzolização. Para outros o processo não resulta tão claro, sendo necessário avaliar a totalidade dos efeitos que a vegetação origina no conjunto do ecossistema solo-planta-atmosfera, assim como as múltiplas interacções que surgem nos mesmos.

Em 1966 num trabalho realizado por CARBALLAS e GUTIÁN, os autores chegaram à conclusão que as folhas das espécies de *P. pinaster* e *E. globulus* tinham um efeito muito mais agressivo sobre o solo que as das espécies *C. sativa* e *Q. robur* (ANTA *et al.*, 1979a). Dados mais recentes obtidos por MADEIRA (1986) e MADEIRA e SERRALHEIRO (1990) sobre decomposição de folhada, mostram que nas primeiras fases de decomposição, as folhas de eucalipto decompõem-se mais rapidamente que as de sobreiro e de pinheiro, sendo também a perda de elementos minerais mais rápida para a primeira.

Estudos realizados em solos desenvolvidos sob diferentes espécies florestais, parecem definitivos para os horizontes orgânicos, mas não são tanto quando se interpreta a nível do ecossistema geral, ou simplesmente da totalidade do perfil edáfico (ANTA *et al.*, 1979a; RODRIGUEZ e VELASCO, 1987; DE PEDRO, 1989).

A intensificação do manejo das florestas e o aumento de plantação de espécies florestais, particularmente a plantação de espécies exóticas têm chamado a atenção para a importância das propriedades físicas e químicas do solo (PRITCHETT e FISHER, 1987).

2.1.5.1 - Propriedades físicas

As propriedades físicas do solo são condicionantes da aptidão dos mesmos (BRADY, 1990). Investigações realizadas em solos florestais têm mostrado que as propriedades físicas são fundamentais no desenvolvimento, crescimento e distribuição das espécies florestais. De facto, estas propriedades são extremamente importantes, por um lado na retenção de água e por outro no escoamento e arejamento, o que é determinante na relação solo-planta, dado envolverem dois constituintes essenciais - água e oxigénio, reflectindo as relações existentes entre propriedades físicas, químicas e biológicas. Boas propriedades físicas podem ajudar a compensar a pobreza das propriedades químicas e biológicas (PRITCHETT e FISHER, 1987).

Distúrbios ocorridos no solo, sob certas condições, podem alterar as propriedades físicas. A estrutura e a densidade aparente são facilmente alteradas pela compactação do solo. Propriedades como a textura e a cor são praticamente inalteráveis (PRITCHETT e FISHER, 1987).

Dar-se-á assim ênfase à estrutura e densidade aparente, visto serem as propriedades físicas onde mais directamente se faz sentir a influência da matéria orgânica.

2.1.5.1.1 - Estrutura e sua importância no comportamento do solo

O termo estrutura define o tamanho, forma e arranjo das partículas sólidas do solo e os poros que lhe estão associados (RAMPAZZO *et al.*, 1994). Ao longo de um perfil edáfico pode dominar um só tipo de estrutura mas normalmente encontram-se vários tipos nos diferentes horizontes (BRADY, 1990), o que é mais comum atendendo à diferente constituição.

Circulação de água e ar, resistência à acção de agentes erosivos, expansão radicular e consequências sobre a nutrição são factores intimamente relacionados com as condições de estrutura no solo. Características do solo como, a densidade aparente, porosidade e propriedades térmicas são também largamente influenciadas pela estrutura (PRITCHETT e FISHER, 1987; SAMPAIO *et al.*, 1994; ZENG *et al.*, 1994). Uma boa estrutura favorece estes requisitos, necessários para um óptimo crescimento das plantas, o que leva a que esta tenha uma importância decisiva na produtividade do solo (HILLEL, 1971 citado por SAMPAIO *et al.*, 1994).

As estruturas formadas por agregados arredondados, permitem a existência de uma porção suficiente de espaços vazios que beneficiam a vida das raízes, actividade biológica e a circulação de ar e água. Certas estruturas contínuas, desde que sejam percorridas por galerias de animais ou de raízes que entretanto morreram, podem igualmente ter propriedades muito favoráveis.

A estrutura de um horizonte não é imutável ao longo do tempo. Em determinados períodos esta é destruída, essencialmente devido à água da chuva, enquanto que noutros é favorecida pelas alternâncias progressivas de dissecação e humectação ou por acção da fauna do solo.

2.1.5.1.1.2 - Factores de formação da estrutura

Os mecanismos exactos de formação da estrutura do solo, ainda não são bem conhecidos (BRADY, 1990) e na sua determinação surgem bastantes dificuldades (ZENG *et al.*, 1994). No entanto, a natureza e origem do material originário e os processos físicos e bioquímicos de formação do solo são muito importantes na estruturação. A presença de colóides como argila, substâncias húmicas e óxidos de ferro e alumínio, pH alcalino, baixa condutividade eléctrica, crescimento e declínio das raízes, mecanismos de dilatação e contração e actividade dos microorganismos são parâmetros favoráveis à agregação (BONNEAU e LÉVY, 1979; PRITCHETT e FISHER, 1987; RAMPAZZO *et al.*, 1994).

A matéria orgânica humificada, tem um papel de “cimento” entre as partículas minerais, quer devido a ligações entre as cargas positivas das argilas e as suas cargas, quer devido, especialmente, a cationes intermediários como o Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} e Al^{3+} . Os cationes Al^{3+} e H^+ podem ter influência tanto ou mais eficaz que o Ca^{2+} . A matéria orgânica muito polimerizada, como os ácidos húmicos pardos ou as huminas, permitem a existência de estruturas favoráveis (BONNEAU e LÉVY, 1979).

Teores elevados de matéria orgânica levam à formação de estruturas mais estáveis, sendo ainda mais favorecidas se existir uma adequada mistura entre matéria orgânica e matéria mineral. A manutenção da actividade biológica no solo, a médio e longo prazo, promove a distribuição da matéria orgânica nos diferentes horizontes e a conveniente mistura com os componentes inorgânicos (CLUZEAU *et al.*, 1994). A estabilidade da agregação é influenciada temporariamente pela acção de organismos, particularmente pelos micélios dos fungos, comuns em solos florestais (PRITCHETT e FISHER, 1987). Os filamentos micélicos envolvem as partículas de solo, favorecendo a sua agregação e dando uma certa coesão às unidades estruturais assim formadas (BONNEAU e LÉVY, 1979). Os produtos intermédios de síntese microbiana e o seu declínio são estabilizadores da estrutura.

Igualmente, a textura tem uma considerável influência na formação e preservação da estrutura. O predomínio de uma fracção sobre outra incide nas propriedades físicas do solo nomeadamente na estrutura, permeabilidade e na capacidade de retenção de água. A argila, aumenta a coesão em estado húmido e favorece a fragmentação em estado seco devido às propriedades de dilatação e retracção que confere ao solo em consequência das variações de humidade (BONNEAU e LÉVY, 1979; BRADY, 1990). Assim, a estabilidade estrutural aumenta até conteúdos de 50% de argila diminuindo em seguida ao formarem-se demasiadas fissuras (BONNEAU e LÉVY, 1979; VALLS e DÍAZ, 1993). No caso de solos de texturas finas a desidratação e consequente fendilhamento, provocados pelos fogos pode ser um dos processos de formação da agregação (PRITCHETT e FISHER, 1987).

2.1.5.1.1.3 - Estabilidade estrutural

A estabilidade estrutural e a capacidade de infiltração que lhe está associada, são as principais propriedades do solo para o proteger da erosão, ou de outros problemas agronómicos como a formação da crosta, conforme é geralmente reconhecido (DUCHAUFOR; 1977; COSTA, 1985; BRADY, 1990; ARIAS *et al.*, 1994)

Os processos que levam à diminuição da coesão do solo, provocam uma destruição da estrutura. A coesão depende fortemente da textura e dos catiões de troca do solo (BONNEAU e LÉVY, 1979). Distúrbios mecânicos, afectam as condições físicas do solo e alteram a estrutura através da compactação e de pressões e rupturas provocadas por alfaías ou animais. Os efeitos directos, registam-se no sistema ar-água do solo e na penetração das raízes (PRITCHETT e FISHER, 1987).

Na natureza, o ataque dos agregados pela água depende da distribuição da humidade no solo, da intensidade da água da chuva e da matéria orgânica existente, a qual confere estabilidade aos agregados conforme é geralmente reconhecido.

Assim, os agregados do solo são, de um modo geral, mais estáveis sob condições florestais, que sob condições cultivadas. O cultivo contínuo tende a reduzir a agregação em muitos solos através da ruptura mecânica dos agregados e da redução do teor em matéria orgânica (PRITCHETT e FISHER, 1987). Em regiões de clima húmido, o coberto vegetal e o elevado teor em matéria orgânica são os principais factores de protecção do solo contra a degradação. Já em regiões semiáridas o escasso coberto vegetal e o baixo conteúdo em matéria orgânica torna estes solos mais susceptíveis à destruição.

Os óxidos de ferro e alumínio apresentam um papel agregante e ocorrem em quantidades significativas no solo, inclusivamente são maioritários em solos de zonas temperadas húmidas, nomeadamente nos que possuem elevada quantidade de matéria orgânica. A precipitação destes óxidos sobre a caulinite e quartzo, favorece a agregação destes substratos, especialmente quando os precipitados apresentam baixa cristalinidade (ARIAS *et al.*, 1993).

2.1.5.1.2 - Densidade aparente, porosidade e factores condicionantes

A densidade aparente, refere-se ao peso seco de um dado volume de solo não perturbado. Inclui a densidade das partículas sólidas e dos espaços vazios que lhe estão associados, isto é, a porosidade (COSTA 1985). A densidade das partículas em muitos solos minerais varia entre os limites estreitos 2,60 e 2,75, mas em solos florestais pode apresentar valores da ordem dos 0,20 em algumas camadas orgânicas (COSTA, 1985; PRITCHETT e FISHER, 1987).

A densidade aparente é fortemente influenciada pelo teor em matéria orgânica (RAWLS, 1983; PRITCHETT e FISHER, 1987; FEDERER *et al.*, 1992), presença de elementos grosseiros (STEWART *et al.* 1970; POESEN e LAVEE, 1994; TORRI *et al.*, 1994), estrutura e textura (PRITCHETT e FISHER, 1987),

O excessivo pisoteio pelos animais, o uso de maquinaria pesada na exploração das florestas, o uso intensivo ou distúrbios causados nos solos enquanto húmidos, incrementam a densidade aparente, particularmente em solos de textura fina (PRITCHETT e FISHER, 1987).

Todos os factores que afectam a porosidade vão afectar de forma determinada a densidade aparente do solo. Os poros do solo normalmente estão preenchidos por ar e água, mas a proporção relativa de cada um muda constantemente no espaço e no tempo.

Alguns autores classificam os poros de acordo com o seu tamanho, dividindo-os em microporos e macroporos. De acordo com MACLINTYRE (1974) citado por SAMPAIO *et al.* (1994), os macroporos correspondem aos poros com diâmetro maior ou igual a 50 μm . SCHROEDER (1984) classifica os poros com dimensões superiores a 50 μm de poros largos que permitem uma fácil drenagem; entre 10-50 μm de poros largos mas com drenagem lenta; entre 10-0,2 μm de poros médios responsáveis por retenção de água utilizável e com dimensões inferiores a 0,2 μm de poros finos com retenção de água não utilizável.

Em solos de textura grosseira dominam os macroporos, mas a porosidade total é mais baixa que em solos de textura fina, logo a densidade aparente é mais elevada (COSTA, 1985). Os solos com elevada proporção de microporos, geralmente, apresentam elevada capacidade para a água, baixa infiltração e a possibilidade de saturarem em água. Os solos com larga proporção de macroporos, geralmente, apresentam bom arejamento, rápida infiltração e baixa capacidade para a água. Em solos de textura arenosa, o volume de poros está compreendido no intervalo 35 a 50%, enquanto que em solos de textura fina varia desde 40 a 60% ou mais (PRITCHETT e FISHER, 1987).

A densidade aparente está de perto relacionada com a fracção de massa orgânica. Normalmente decresce quando o conteúdo em matéria orgânica aumenta particularmente em solos florestais, que tendem a aumentar o teor em matéria orgânica e a estabilidade da agregação próximo da superfície (FEDERER *et al.*, 1992).

A quantidade e natureza da matéria orgânica do solo e a actividade da fauna e flora influenciam o volume de poros. Solos com elevados teores em matéria orgânica, componente com elevada porosidade, apresentam densidades aparentes mais baixas quando comparados com solos pobres neste componente (FEDERER *et al.*, 1992). Os solos pouco compactos, originam densidades baixas por unidade de volume, registando-se um aumento nestas quando a compactação aumenta, o que geralmente acontece com a profundidade (PRITCHETT e FISHER, 1987).

STEWART *et al.* (1970), mostraram que a densidade aparente da terra fina decresce com o aumento do conteúdo em elementos grosseiros. Esta relação negativa foi posteriormente

confirmada por outros autores como FLINT e CHILDS (1984) citados por TORRI *et al.* (1994) e POESEN e LAVEE (1994) quer em solos florestais, quer em solos agrícolas. Até conteúdos de cerca de 50% em elementos grosseiros a densidade aparente da terra fina aumenta, a partir desse valor regista-se um ligeiro decréscimo (POESEN e LAVEE, 1994), pois, os elementos grosseiros originam porosidade e esta acaba por ser atribuída à fracção de terra fina.

O volume de poros em solos florestais é normalmente mais elevado que em solos similares usados em agricultura, porque as colheitas contínuas resultam numa redução da quantidade de matéria orgânica (FEDERER *et al.*, 1992) e no volume de macroporos. A porosidade em muitos solos florestais varia entre 30 e 65%.

2.1.5.2 - Propriedades químicas

Até à relativamente pouco tempo, considerava-se que as propriedades químicas tinham um papel pouco relevante no crescimento vegetal em ecossistemas florestais, quando comparadas com as propriedades físicas (PRITCHETT e FISHER, 1987). Deste modo, só em anos recentes é que as propriedades químicas mereceram atenção, devido essencialmente à intensificação do manejo dos solos florestais como consequência da substituição de espécies autóctones por outras de crescimento rápido e da introdução de curtas rotações, que resultam em modificações importantes no ciclo de nutrientes dos ecossistemas.

Conforme já referido, a matéria orgânica tem uma influência acentuada sobre as propriedades químicas do solo, nomeadamente sobre a natureza do complexo de troca e na concentração de bioelementos.

2.1.5.2.1 - Complexo de troca do solo

Considera-se o complexo de troca como o conjunto dos componentes do solo que estão envolvidos nos mecanismos de adsorção e troca iónica e observa-se este fenómeno em substâncias com elevada superfície específica, nomeadamente substâncias no estado coloidal, como os minerais de argila e compostos húmicos.

Os minerais de argila e as substâncias húmicas são colóides, essencialmente electronegativos, podendo em determinadas condições desenvolverem algumas cargas positivas (COSTA, 1985; BRADY, 1990; TAN, 1986). Estas cargas estão relacionadas com o pH do solo, aumentando o número de cargas negativas quando este aumenta, observando-se o contrário quando diminui (COSTA, 1985; BRADY, 1990).

Os mecanismos de adsorção e troca iónica no solo estão largamente relacionados com processos físicos e químicos que nele ocorrem, particularmente com a alteração de minerais, variação do volume e consistência dos constituintes do solo com o teor em água e nutrição

vegetal (COSTA, 1985). Mostram uma importância fundamental do ponto de vista pedológico e agronómico.

Os catiões adsorvidos no complexo de troca podem ser removidos por troca das suas posições com outros catiões, ficando livres na solução e disponíveis para serem absorvidos pelas raízes das plantas ou para serem lixiviados.

Alguns factores actuam no sentido de acelerar ou retardar a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Os mais importantes são: o grau de saturação, do complexo de troca em catiões (quanto mais elevada for a percentagem de determinado catião no complexo de troca, mais facilmente este será libertado (BRADY, 1990); a energia de retenção dos catiões (libertam-se mais facilmente os catiões menos fortemente ligados aos colóides (COSTA, 1985; BRADY, 1990) e a natureza do colóide (quanto mais elevada for a sua capacidade de troca catiónica, para um determinado grau de saturação, mais facilmente os iões são libertados).

Em regiões temperadas, as partículas coloidais que predominam no solo são os minerais de argila e as substâncias húmicas (BRADY, 1990), pelo que se fará uma breve referência a estes dois tipos de constituintes do solo, no que toca à sua condição de constituintes do complexo de troca.

2.1.5.21.1 - Colóides minerais

Ainda que existam outros componentes minerais com responsabilidade no desenvolvimento de cargas de superfície, atendendo à preponderância dos minerais de argila, far-se-á apenas referência a estes.

Os minerais de argila, constituídos por partículas extremamente pequenas ($\varnothing < 2 \mu\text{m}$), e com elevada cristalinidade, constituem um material particularmente favorável à ocorrência de fenómenos de superfície (COUTINHO, 1989). No solo são frequentes minerais pertencentes aos grupos da caulinite, montmorilonite e ilite. O tipo de mineral sintetizado está dependente, em grande parte, da natureza do meio de alteração e de factores ambientais como humidade, temperatura, condições de drenagem e presença de bases. A estrutura interna destes minerais tem um constante excesso de cargas negativas devido a substituições isomórficas (COSTA, 1985; BRADY, 1990; COUTINHO, 1989). Estas substituições ocorrem lentamente no decurso dos ciclos de meteorização e não são facilmente modificadas (BRADY, 1990). Assim, apresentam sempre uma carga resultante de desequilíbrios internos na sua estrutura, que SPOSITO (1981b) citado por COUTINHO (1989), designa de carga estrutural permanente.

O número de cargas negativas é também influenciado pelo pH do meio. A partir de pH 6 dá-se a dissociação do hidrogénio dos grupos hidroxilos existentes à superfície dos minerais de argila, aumentando o número de cargas negativas, que atinge o máximo a cerca de pH 10, e por isso denominam-se de cargas dependentes do pH (COSTA, 1985).

2.1.5.2.1.2 - Colóides húmicos

Os componentes húmicos, constituídos basicamente por carbono, hidrogénio e oxigénio, não são cristalinos e mostram tamanhos muito variados, podendo no entanto, terem dimensões idênticas às partículas de argila (BRADY, 1990). A carga eléctrica negativa destes componentes está associada a grupos carboxilos, fenólicos e enólicos (COSTA; 1985; BRADY, 1990), sendo os grupos carboxilos os mais importantes nos fenómenos de superfície do húmus seguidos dos grupos fenólicos (COUTINHO, 1989). A carga negativa dos compostos húmicos está dependente do pH do solo. Os hidrogénios de grupos carboxilos dissociam-se principalmente entre cerca de pH 4 e pH 7, e os grupos oxidrilos acima de cerca de pH 6 (COSTA, 1985). Assim, sob condições muito ácidas, o número de cargas negativas é relativamente baixo. Com a elevação do pH o hidrogénio dissocia-se em primeiro lugar dos grupos carboxilos e depois dos grupos enólicos e fenólicos (BRADY, 1990), levando a um aumento significativo da carga negativa do colóide.

Os ácidos húmicos e fúlvicos são as fracções do húmus mais largamente estudadas. Como referido em 2.1.3.2, os ácidos fúlvicos mostram um predomínio de grupos carboxilos, apresentam acidez mais acentuada (SCHNITZER, 1978a citado por COUTINHO, 1989) e, conseqüentemente, densidade de carga mais elevada (SCHNITZER e HANSEN, 1970 citado por COUTINHO, 1989), pelo que a sua capacidade de troca é também mais elevada.

Segundo BRADY (1990), os colóides de argila e de húmus apresentam os seguintes valores de capacidade de troca catiónica (CTC) expressos em $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$, determinados a pH 7:

Vermiculite	100 - 180
Montmorilonite	80 - 120
Illite	15 - 40
Caulinite	3 - 15
Húmus	200 - 750

Pode-se constatar que a CTC do húmus é significativamente superior à dos minerais de argila, pelo que o aumento do nível de matéria orgânica do solo tenderá a aumentar a CTC deste, o que pode conduzir à redução do grau de saturação em bases, por estas não estarem em proporção suficiente para contrabalançar a elevação da CTC.

2.1.5.2.2 - A vegetação e a reacção do solo

A acidificação do solo é comum em regiões onde a precipitação é bastante elevada (VIQUEIRA *et al.*, 1982; BRADY, 1990), independentemente do tipo de vegetação sob a qual os

solos se estão a desenvolver (VIQUEIRA *et al.*, 1982), devido às águas de drenagem que arrastam continuamente os catiões por lixiviação (BRADY, 1990). Esta saída de catiões não é compensada pelos processos de alteração, salvo em casos de solos carbonados onde as reservas minerais são elevadas (TOUTAIN *et al.*, 1988).

Normalmente os solos apresentam mecanismos de “resistência” à acidificação, sendo estes mais evidentes quando o grau de saturação em bases é menor que 20% e o pH inferior a 5,5. Na maior parte dos solos o pH dificilmente atinge valores inferiores a 4,0 (VIQUEIRA *et al.*, 1982), já que quanto mais ácido for um solo, maior é a sua resistência a um incremento de carácter ácido (COSTA, 1985). Apesar do alumínio ser um elemento que contribui muito para a acidificação dos solos, este apresenta uma importante acção amortecedora de pH ácidos. Assim, o alumínio assume um papel preponderante nos mecanismos de resistência à acidificação, pelo que estes ocorrem essencialmente em solos derivados de rochas ricas no referido elemento, como são por exemplo os granitos e os xistos.

Um elevado número de espécies florestais parece desenvolver-se bem dentro de limites amplos de valores de pH do solo (BRADY, 1990), o que tem grande importância na determinação do tipo e qualidade da floresta em cada área geográfica (PRITCHETT e FISHER, 1987).

O tipo de vegetação é susceptível de influenciar significativamente a reacção do solo (PRITCHETT e FISHER, 1987). Entre as comunidades florestais, geralmente é atribuído às coníferas um maior influxo acidificante do perfil edáfico (DUCHAUFOR, 1977; PRITCHETT e FISHER, 1987; BRADY, 1990; GEÓL e GEÓL, 1993), podendo este facto encontrar justificação nas diferenças do teor em bases dos resíduos orgânicos (PRITCHETT e FISHER, 1987) e na acção de determinados ácidos orgânicos ou na entrada de H^+ a partir da água de lavagem do coberto e tronco das espécies resinosas (VIQUEIRA *et al.*, 1982).

Com poucas excepções, as espécies florestais estão bem adaptadas a condições de solos ácidos. Apesar disso, a reacção do solo pode prescrever a distribuição de plantas mais sensíveis à acidez. Espécies como o *Sabal palmett* e *Juniperus silicola* aparecem, frequentemente, em solos calcários pouco profundos (PRITCHETT e FISHER, 1987). No entanto, a distribuição das plantas indicadoras nem sempre é um guia seguro da reacção do solo. Algumas espécies mais tolerantes à acidez como a *Tsuga* e *Abies*, podem crescer com êxito em solos calcários e vegetação “acidófila” (*Rumex*, *Ledum* e *Chamaedaphne*) pode desenvolver-se em níveis de pH relativamente elevados, desde que a competição entre as espécies não seja severa (PRITCHETT e FISHER, 1987).

A toxicidade do alumínio é o principal factor limitante do crescimento das plantas em solos ácidos (FAGERIA *et al.*, 1988 citado por GALLARDO, 1993). Esta, restringe o desenvolvimento radicular, pelo que a planta reduz o volume de solo explorado, diminuindo deste modo a absorção de nutrientes e água (GALLARDO, 1993).

(a) - Efeito do coberto vegetal no pH da água de interceptação

O pH da água da chuva varia dentro de limites muito estreitos, andando o seu valor à volta de 6 e só ocasionalmente pode alcançar valores significativamente inferiores como consequência de contaminações atmosféricas de origem local. A água da chuva ao atravessar os cobertos das espécies vegetais sofre um decréscimo evidente do pH, decréscimo este, que é mais acentuado nas espécies de coníferas que nas espécies caducifólias (ANTA *et al.*, 1979b).

A água de escorrência ao longo do tronco, apresenta valores de pH mais baixos que a água de lavagem da copa e parece que este efeito é mais acentuado nas coníferas que nas caducifólias (ANTA *et al.*, 1979b). A natureza ácida da água que escorre ao longo do tronco tem sido demonstrada por vários estudos em carvalho, pinheiro, eucalipto, e outras espécies (ANTA *et al.*, 1979b; BENIAMINO *et al.*, 1991). Por outro lado, a acidificação do solo é mais acentuada na área próximo da base do tronco das árvores. Este fenómeno tem sido verificado pelo pH do solo, dados de vegetação e estudo do tipo de micorrizas presentes. Na origem deste fenómeno parece estar a água de escorrência ao longo do tronco e as cascas das árvores que caem próximo da base do tronco (BENIAMINO *et al.*, 1991). MINA (1967) citado por BENIAMINO (1991) salienta que a água de escorrência do tronco em árvores de casca rugosa é mais ácida que em árvores de casca lisa. A causa desta acidez, está principalmente na quantidade de polifenóis solúveis em água e lixiviados a partir da casca (BENIAMINO *et al.*, 1991).

Esta acidez pode ser uma das razões que está na origem da lixiviação nas proximidades das raízes podendo levar à podzolização da zona (GERSPER e HOLOWAYCHUK, 1971). A podzolização é um processo que ocorre mais frequentemente em climas frios (boreal, alpino) sobre materiais pobres em minerais alteráveis (areias, alguns grés) e favorecido por uma vegetação "acidificante" (resinosas, ericáceas) que têm tendência a formar um húmus ácido do tipo *mor* ou *moder* (DUCHAUFOR, 1993). Este tipo de húmus liberta compostos solúveis "agressivos" que alteram fortemente os horizontes minerais e provocam o arrastamento do ferro e do alumínio em profundidade sob a forma de complexos pseudossolúveis (DUCHAUFOR, 1977; ROSS, 1989; DUCHAUFOR, 1993).

A deposição ácida tem sido continuamente incrementada na Europa, levando à saturação em azoto, à acidificação e consequentemente à perda de nutrientes nos solos florestais (SKEFFINGTON, 1990 citado por TUULA *et al.*, 1994). A aplicação de calcário ao solo é muitas vezes utilizada para neutralizar a acidificação do solo e sustentar a vitalidade e sanidade das florestas (TUULA *et al.*, 1994). Contudo, em alguns casos esta prática reduz o crescimento das árvores (DEROME *et al.*, 1986 citado por TUULA *et al.*, 1994) e aumenta a mineralização do carbono em solos florestais.

(b) - Efeito da matéria orgânica na reacção do solo

Os processos de decomposição da matéria orgânica formam ácidos orgânicos e inorgânicos que aumentam a acidez, especialmente se a matéria orgânica tem um baixo teor em bases. A acção do ácido carbónico (H_2CO_3) é lenta mas persistente sobre os constituintes minerais do solo e é responsável pela remoção de grandes quantidades de cationes de troca por dissolução e lixiviação. Os ácidos inorgânicos como o ácido sulfúrico (H_2SO_4) e o ácido nítrico (HNO_3) são potenciais fornecedores de iões H^+ ao solo.

De facto, estes ácidos inorgânicos juntamente com ácidos orgânicos fortes, promovem o desenvolvimento de condições ácidas moderadas a fortes. O ácido sulfúrico e nítrico são formados não somente por processos de decomposição da matéria orgânica, mas também pela actividade microbiana do solo e uma grande quantidade provém da atmosfera.

(c) - Efeitos indirectos da acidificação

A reacção do solo afecta significativamente a possibilidade de utilização de elementos químicos importantes para as plantas e microrganismos (BRADY, 1990). A tendência para a toxicidade de micronutrientes como o boro, cobre, manganês e ferro aumenta, geralmente, com o aumento da acidez do solo (PRITCHETT e FISHER, 1987; BRADY, 1990). Nos solos onde as reservas destes nutrientes são inerentemente baixas, a redução significativa da acidez pode resultar na deficiência de um ou mais destes elementos essenciais. Estes sintomas geralmente desaparecem com o desenvolvimento do sistema radicular em profundidade no solo. A utilização de azoto, enxofre e molibdénio está um pouco limitada pelos valores baixos de pH, enquanto que o fósforo é absorvido preferencialmente a níveis de pH moderados (BRADY, 1990; SANTOS, 1991).

O solo com valores de pH moderados é o que apresenta o meio mais satisfatório para a actividade dos microrganismos. Por vezes, a actividade dos fungos tende a predominar em solos ácidos, visto que a pH moderado e elevado, existe forte competição entre actinomicetas e bactérias (BRADY, 1990).

2.1.5.2.3 - Nutrição vegetal

Considera-se o ciclo biogeoquímico como a circulação permanente de elementos minerais entre os horizontes do solo (explorados pelas raízes) e as árvores (folhas, ramos, tronco, raízes) (RANGER e BONNEAU, 1984). O ciclo assim definido de maneira sucinta aparece como fechado, mas na realidade tem numerosas conexões com o exterior, quer sob a

forma de ganhos de elementos a partir da atmosfera ou da alteração da rocha-mãe, quer sob a forma de perdas por lavagem e lixiviação do solo.

A exportação de materiais das florestas reduz o potencial de produtividade (KEEVES, 1966 citado por BORCHERS e PERRY, 1991). A fertilidade do solo está estritamente relacionada com o seu conteúdo em matéria orgânica (BACA *et al.*, 1993) e esta representa um importante reservatório de nutrientes para as plantas (WARING e SCHLESINGER, 1985).

PEREIRA (1978) e ALVES e PEREIRA (1990), referem que ao nível dos ecossistemas florestais a circulação dos nutrientes pode ser dividida em duas partes:

Parte biológica:

- absorção: pelas raízes das plantas;
- restituição: folhada (folhas, raízes, ramos) e excreções;
- retenção: imobilização na biomassa.

Parte geoquímica:

- importação: adição através da água da chuva e meteorização das rochas;
- exportação: perdas por drenagem, lixiviação e exploração humana.

A eficiência de uso dos nutrientes depende da acumulação e distribuição pelos diferentes componentes da biomassa (ALVES e PEREIRA, 1990).

2.1.5.2.3.1 - Absorção

As árvores florestais absorvem os nutrientes minerais essencialmente através das raízes. Geralmente as raízes das árvores estão micorrizadas o que leva grande parte dos nutrientes a entrarem no ecossistema através das hifas dos fungos.

A micorrização depende da existência de um ambiente físico apropriado (luz, nutrição mineral, humidade do solo) e da existência de inóculo fúngico no solo. Normalmente, as plantas com micorrizas crescem mais e têm teores mais elevados em nutrientes (PEREIRA, 1978) devido a estimularem a absorção de água e elementos minerais, especialmente fósforo e azoto (HONRUBIA *et al.*, 1992).

Parece que as micorrizas estão mais adaptadas para melhorar o fornecimento de nutrientes por difusão, do que resulta ser o fósforo o nutriente mais favorecido pela sua presença (BINKLEY, 1986). Resultados obtidos em culturas de citrinos mostraram que a presença de micorrizas favoreciam consideravelmente a nutrição em fósforo e menos significativamente a de outros elementos, como potássio, cálcio, magnésio e sódio (MENGE *et al.*, 1978).

Para além das micorrizas, outros microrganismos têm um papel importante na nutrição mineral das árvores. Na região da rizosfera, de um modo geral, verifica-se uma estimulação do crescimento das populações bacterianas, particularmente das amonificadoras e desnitrificadoras. Assim, as interações microorganismo-planta nesta zona têm um efeito marcado na transformação do azoto (ZAGAL, 1994). Os actinomicetas, podem também, ser estimulados na vizinhança das raízes. O efeito da rizosfera é mais marcado nos solos leves e nos solos muito ricos em matéria orgânica.

A absorção de nutrientes pelas plantas é selectiva. Porém em condições naturais, as plantas toleram as condições locais no que respeita à disponibilidade de nutrientes no solo. Determinadas características do solo, tais como o pH, influenciam a disponibilidade de elementos essenciais e não essenciais para a planta (BRADY, 1990; SANTOS, 1991). Existem elementos que são mais solúveis em solos ácidos do que em solos alcalinos. Em alguns casos, a solubilidade pode aumentar até os elementos se tornarem tóxicos tal como acontece com o alumínio, o ferro, e o manganês, a pH abaixo de 5. No entanto, a maior parte dos elementos essenciais são pouco solúveis em solos muito ácidos, como acontece com o N, P, K, S, Mg, e Mo (PEREIRA, 1978; BRADY, 1990).

2.1.5.2.3.2 - Retenção

As folhas e outros tecidos jovens das árvores são mais ricos em nutrientes quando comparados com o lenho que é constituído em grande parte por células mortas, pobres em elementos minerais.

Os teores em elementos minerais nos diversos tecidos variam com as espécies. Geralmente em climas temperados, regista-se uma pobreza em nutrientes, nomeadamente cálcio e potássio das coníferas em relação às caducifólias.

A durabilidade dos tecidos tal como a sua riqueza em elementos minerais, tem grande influência no ciclo biogeoquímico das florestas. A reciclagem dos nutrientes através do lenho é lenta, visto que uma vez incorporados na madeira os elementos ficam aí retidos por dezenas ou mesmo centenas de anos.

Um ciclo de nutrientes muito rápido, está quase sempre ligado a uma elevada produtividade, contudo, pode não ser vantajoso do ponto de vista adaptativo. Os pinheiros, por exemplo, parecem ter um maior sucesso em solos de baixa fertilidade quando comparados com espécies folhosas, uma vez que os pinheiros parecem conservar melhor os nutrientes tirando vantagem do facto das agulhas estarem bastante mais tempo na árvore e os nutrientes serem libertados lentamente devido à difícil decomposição da folhada.

Os diversos nutrientes estão retidos com diferente intensidade na biomassa, de acordo com as funções que desempenham na planta.

2.1.5.2.3.3 - Restituição

O retorno dos nutrientes ao solo é afectado por vários processos. À medida que as folhas envelhecem o seu teor em nutrientes e peso seco varia. A transferência de nutrientes da biomassa para o solo faz-se sobretudo através da queda da folhada e da mortalidade de raízes finas (ALVES e PEREIRA, 1990). Os processos de decomposição das raízes são muito importantes na matéria orgânica e na dinâmica de elementos em solos florestais (MCCLAUGHERTY *et al.*, 1984 citado por RIBEIRO e MADEIRA, 1994). A lavagem da copa é particularmente importante no caso do potássio e do sódio, muito solúveis e retidos com baixa intensidade nos tecidos vegetais (PEREIRA, 1978). A velocidade de decomposição da folhada varia com os tecidos, com as espécies e com as condições ambientais. Assim, os factores que afectam a libertação dos bioelementos variam consideravelmente e em muitos casos estão escassamente definidos (MARTIN *et al.*, 1994). Neste sentido, referem-se os seguintes: a composição química do material (UPADHYAY *et al.*, 1989 citado por MARTIN *et al.*, 1994), características solo-clima (BERG *et al.*, 1990 citado por MARTIN *et al.*, 1994) e organismos presentes no solo (TOUTAIN, 1981). A temperatura mostra-se particularmente importante, verificando-se geralmente uma diminuição na velocidade da mineralização ao longo de um gradiente de temperaturas decrescentes.

2.1.5.2.3.4 - Importação

As principais vias de entrada de nutrientes nas florestas são: atmosfera (poeiras, precipitação), a meteorização da rocha-mãe e a fixação biológica do azoto (PEREIRA, 1978). A importância da atmosfera como fonte de nutrientes varia com as regiões. Pode-se referir como exemplo as florestas das regiões costeiras que recebem quantidades significativas de sódio, cloro e micronutrientes a partir do mar. Nas regiões industrializadas, a atmosfera é fonte de quantidades apreciáveis de azoto e de enxofre. Porém, a incorporação de nutrientes a partir da atmosfera podem não ter só efeitos benéficos, particularmente o enxofre que chega sob formas tóxicas para as plantas. A poluição atmosférica devida ao dióxido de enxofre é responsável por perdas elevadas na produção florestal em zonas industrializadas.

De um modo geral, o coberto florestal é muito eficaz na captura de poeiras que são posteriormente lavadas pela água da chuva que escorre das folhas e tronco (lavagem da copa e tronco). Esta água de escoamento arrasta não só os elementos nela dissolvidos (azoto, enxofre, etc.), mas também os elementos solúveis mais facilmente lavados dos tecidos vegetais (particularmente o potássio) e os elementos depositados na superfície das plantas (enxofre, sódio, metais pesados, etc).

A entrada de nutrientes no ecossistema a partir da rocha-mãe é um processo usualmente lento e raramente quantificado, mas de grande significado nas florestas. As raízes das árvores

ao penetrarem profundamente na rocha-mãe, transportam para a superfície e põem parcialmente em circulação quantidades significativas de nutrientes. Em condições normais de drenagem e arejamento, o ferro proveniente da alteração do material originário permanecerá quase na sua totalidade no perfil, desde que não exista importante presença de compostos orgânicos que permitam a sua redução e complexação (CLEMENTE *et al.*, 1993). A meteorização da rocha-mãe, assim como a fixação biológica de azoto, estão na base do enriquecimento do solo em nutrientes minerais. A fixação microbiana de azoto atmosférico pode ser efectuada por via simbiótica ou não simbiótica. Este fenómeno é muito importante em florestas tropicais e menos importante em florestas temperadas (RANGER e BONNEAU, 1984).

2.1.5.2.3.5 - Exportação

Em todos os ecossistemas verificam-se perdas de nutrientes, sendo esta perda variável. Os tecidos ricos em material estrutural (celulose, hemicelulose e lenhina) são resistentes à decomposição. Assim, a folhada proveniente de espécies perenifólias apresenta maior resistência à decomposição do que de espécies caducifólias e, dentro destas últimas, algumas espécies como os carvalhos, são mais resistentes quando comparados com choupos, faias e áceres (PEREIRA, 1978).

As características da matéria orgânica e a velocidade de decomposição influenciam o solo quanto à localização e disponibilidade de nutrientes. Numa floresta tropical húmida, a folhada decompõe-se rapidamente e quase completamente aparecendo como produtos finais o CO₂ e H₂O e elementos minerais. Já numa floresta temperada fria, de coníferas, a decomposição é lenta devido às baixas temperaturas, pH baixo e resistência da folhada à mineralização (PEARCE, 1989). Como consequência, existe no solo uma quantidade apreciável de matéria orgânica, onde os ácidos fenólicos são relativamente abundantes.

Deve considerar-se que a velocidade e grau de utilização microbiana de um substrato orgânico depende do movimento dos microorganismos e da distribuição de poros no solo, isto é do arejamento (SKINNER, 1986 citado por BENEDICTO, 1993).

As florestas diferem apreciavelmente da agricultura por terem uma taxa de exportação mais lenta, e conseqüentemente um balanço final entre importação e exportação mais favorável. A redução do *stock* orgânico após a transformação dos sistemas florestais em agrossistemas foi observado ao fim de algum tempo (MERZOUKI *et al.*, 1990).

A lavagem do solo por ácidos orgânicos e inorgânicos arrasta muitos nutrientes para horizontes não acessíveis às plantas. A saída de nutrientes de uma floresta depende não só da protecção que esta oferece contra a erosão, mas também da manutenção de padrões característicos de reciclagem de nutrientes (PEREIRA, 1978). A rapidez com que os elementos

são extraídos de uma floresta depende do modo como ocorre a circulação entre o solo e a biomassa.

Como regra considera-se que os solos florestais são pobres em cálcio, potássio, magnésio e fósforo (BONNEAU, 1983). O cálcio e o magnésio praticamente não são libertados do material que fica intacto. Na origem deste processo, pode estar o facto destes dois elementos entrarem na composição de tecidos vegetais bastante resistentes à mineralização (RAPP *et al.*, 1988).

Num trabalho realizado em solos climáticos DE PEDRO e PAVON (1983), verificaram que em condições climáticas semelhantes, a vegetação autóctone através do ciclo biogeoquímico, enriquece os horizontes superficiais do solo em bases de troca impedindo a sua lixiviação e estabilizando o ecossistema.

Os elementos provenientes das poeiras, precipitação e actividade microbiana, revestem uma importância muito significativa na manutenção da fertilidade do solo, mesmo que a recarga do complexo absorvente esteja assegurado pela alteração dos minerais (RANGER e BONNEAU, 1984).

2.1.5.2.4 - Importância de alguns nutrientes na fisiologia das plantas

As plantas absorvem grande número de elementos a partir do meio que as rodeia, considerando-se como elementos essenciais os elementos necessários para completarem o ciclo vegetativo e reprodutivo (PRITCHEIT e FISHER, 1987; SANTOS, 1991). O carbono, oxigénio e hidrogénio, embora absolutamente essenciais para as plantas, são retirados do ar e da água, pelo que em situações normais não são influenciáveis pelo homem. O azoto, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre são apelidados de macronutrientes, e os três primeiros são absorvidos em quantidades relativamente elevadas pelas plantas e estão com muita frequência em deficiência no solo. Os três últimos também são absorvidos em quantidades razoáveis mas ocorrem com menor frequência em deficiência no solo. Os restantes elementos são designados de micronutrientes devido ao facto de serem absorvidos em quantidades muito pequenas e só muito raramente se manifestarem em deficiência no solo. Quando absorvidos em excesso pelas plantas podem ser fitotóxicos (SANTOS, 1991).

Cada nutriente exerce funções únicas nas plantas e estes papéis afectam a sua mobilidade.

Azoto (N): Constitui de 1% a 5% da matéria seca. O N possui uma grande variedade de funções e a sua mobilidade varia de acordo com elas. É um componente de vários compostos essenciais ao crescimento das plantas, de entre os quais se salientam os aminoácidos, as proteínas, as nucleoproteínas e a clorofila. Quando é absorvido na forma amoniacal (NH_4^+),

liga-se aos aminoácidos de modo a evitar uma toxicidade de amónia. Quando é absorvido na forma nítrica (NO_3^-), pode ser reduzido e convertido a aminoácidos nas raízes, ou ser simplesmente descarregado no xilema e transportado para outras partes da planta. Em ambos os casos, o N é eventualmente incorporado em várias proteínas e ácidos nucleicos, podendo em algumas situações ocorrer reciclagem de N.

Um fornecimento adequado de N, está geralmente associado com um crescimento vigoroso da vegetação e uma forte cor verde. O N total em solos florestais está largamente armazenado nas camadas orgânicas e no horizonte A.

Fósforo (P): Representa cerca de 0,1% a 0,4% da matéria seca. O P entra na composição de um grupo importante de compostos fundamentais para o metabolismo das plantas, salientando-se o NADPH e ATP que têm funções em processos de acumulação e transferência de energia em diversos fenómenos importantes no crescimento vegetal. Também é um componente estrutural de vários compostos bioquímicos da planta, entre os quais se destacam os ácidos nucleicos, fosfoproteínas, fosfolípidos, fitina, etc. O P participa ainda do aumento do sistema radicular, o que permite à planta obter maior quantidade de água e nutrientes do solo.

Em muitos solos, a matéria orgânica é a principal fonte de P na nutrição vegetal.

Potássio (K): A matéria seca contém de 1% a 4-5% de K, valores que se aproximam dos verificados para o N.

Ao contrário do que se observa para o N e P, o K não entra na composição de compostos vitais na planta, pelo que o K mantém-se em formas minerais.

O K é essencial ao metabolismo dos carboidratos, à síntese de proteínas, à formação de amido e translocação de açúcares. É importante na formação de sementes e absolutamente necessário ao desenvolvimento de tubérculos.

À semelhança do N e P, o K é muito móvel dentro da planta, deslocando-se facilmente, promovendo o crescimento dos tecidos meristemáticos e participando na regulação de abertura e fecho dos estomas nas folhas. O K pode estar associado com a resistência das plantas a determinadas doenças.

Cálcio (Ca): O Ca representa cerca de 0,5% a 3% da matéria seca. Está envolvido no desenvolvimento de tecidos meristemáticos, no alongamento das raízes e dos caules e talvez na formação de proteínas. Tem ainda função muito importante na estabilidade das membranas celulares, no controlo da absorção de outros elementos, na translocação dos glúcidos dentro da planta. Apesar de todas estas funções, algumas delas ainda não estão bem esclarecidas.

O Ca normalmente mantém duas moléculas orgânicas juntas permanecendo relativamente imóvel na planta, mas em algumas espécies florestais ocorre a retranslocação

do Ca de tecidos mais velhos para tecidos em crescimento. Assim, verifica-se uma baixa reciclagem de cálcio antes da queda das folhas.

Magnésio (Mg): Apresenta na matéria seca proporções idênticas às verificadas para o P, cerca de 0,1% a 0,4%.

O Mg é o único constituinte mineral da molécula de clorofila, e é essencial à fotossíntese. Actua como estabilizador das partículas dos ribossomas, e participa em diversos fenómenos bioquímicos e fisiológicos. É ainda de referir o importante papel que desempenha juntamente com o enxofre no teor de óleo de diversas culturas. Apresenta elevada mobilidade dentro da planta.

Enxofre (S): Representa cerca de 0,1% a 0,4% da matéria seca, valores idênticos aos referidos para Mg e P.

O S é fundamental na formação de vários compostos. É um constituinte dos aminoácidos sulfurados, de algumas vitaminas, da coenzima A e das ferredoxinas que ocorrem nos cloroplastos.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia empregue no presente trabalho compreende tarefas de campo e de laboratório. As primeiras incluem a selecção das áreas de amostragem com base no tipo de vegetação, clima, litologia e características do relevo; descrição geral da zona em estudo; avaliação dendrométrica dos povoamentos; observação e descrição de pedons representativos das áreas estudadas e recolha de amostras em horizontes orgânicos e minerais. As tarefas de laboratório incluem a análise de alguns parâmetros físicos e/ou químicos das amostras colhidas no campo.

3.1 - SELECÇÃO DAS ÁREAS DE AMOSTRAGEM E DESCRIÇÃO GERAL DA ZONA EM ESTUDO

O presente estudo integra-se num trabalho em curso em povoamentos de quatro espécies florestais, duas com elevada representação na região Norte do País, *Castanea sativa* Miller e *Pinus pinaster* Aiton e duas com menor representatividade mas com interesse silvícola - *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) variedade Franco e *Pinus nigra* Arnold.

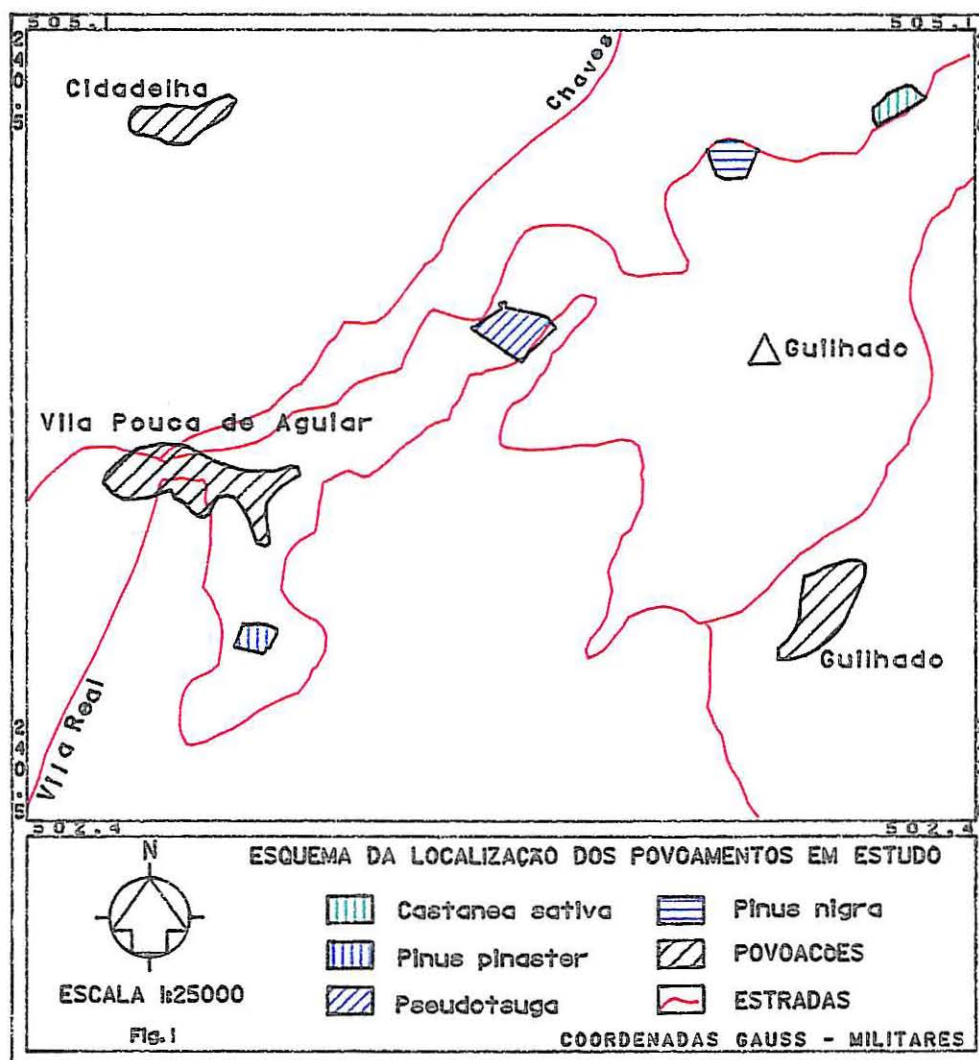


Fig. 1 - Esquema de localização dos povoamentos da área em estudo (Serra da Padrela).

Os povoamentos localizam-se na vertente poente da Serra da Padrela, próximo de Vila Pouca de Aguiar, entre os paralelos 41°29'24" e 41°30'38" de latitude Norte e os meridianos 7°36'43" e 7°38'29" de longitude Oeste, ocupando em grande parte a faixa dos 800 aos 900 m de altitude (Fig. 1). Na selecção das áreas de amostragem, procuraram-se áreas com características semelhantes no que toca a topografia, litologia e clima de modo a reduzir as variáveis e poder atribuir-se as possíveis diferenças nas propriedades do solo ao tipo de coberto florestal.

3.1.1 - Caracterização edafo-climática

A altitude e a continentalidade são os dois factores de clima mais influentes e afectam os regimes térmico e pluvial (FIGUEIREDO, 1990). A zona em estudo não dispõe de dados climáticos, pelo que se recorreu ao registo de dados climáticos da Estação Meteorológica mais próxima (Pedras Salgadas) (INMG, fascículo XIII, 1970). Contudo, dada a diferença entre as características geográficas do local onde esta se situa e a área de amostragem, foi necessário efectuar a correcção dos valores da temperatura e precipitação.

3.1.1.1 - Temperatura

A temperatura foi determinada a partir das cartas das isanómalas de 1931/1960 (INMG 1978), de acordo com a altitude (em relação ao nível do mar) e as anomalias mensais registadas na região. Seguiu-se a seguinte metodologia:

- (1) cálculo das temperaturas médias mensais, com base na equação de regressão obtida para cada mês e na altitude;
- (2) correcção dos valores obtidos em (1), em função da posição relativa nas isanómalas.

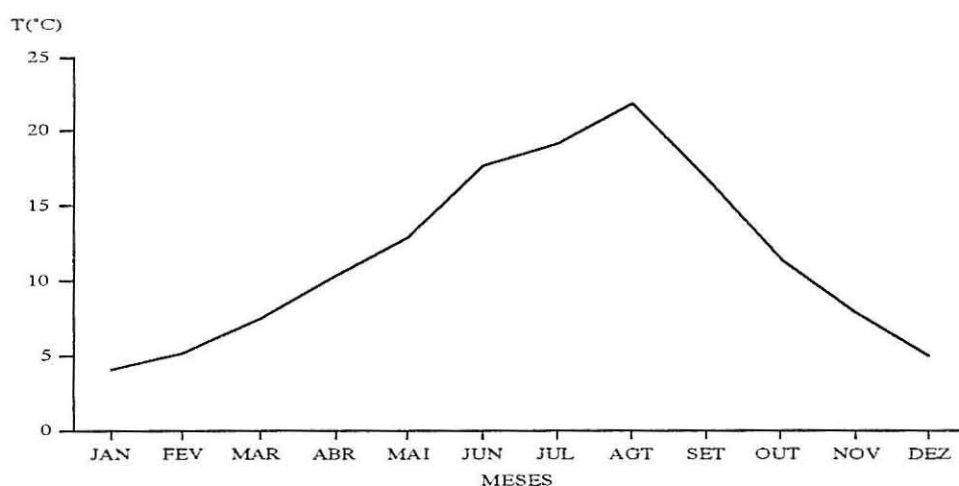


Fig. 2 - Distribuição anual da temperatura para a área em estudo (Serra da Padrela).

A temperatura média anual é de 11,3°C, com médias mensais que variam entre 4,0°C (Dezembro) e 21,9°C (Agosto).

3.1.1.2 - Precipitação

Na determinação dos valores da precipitação o processo seguido foi idêntico ao descrito para a temperatura.

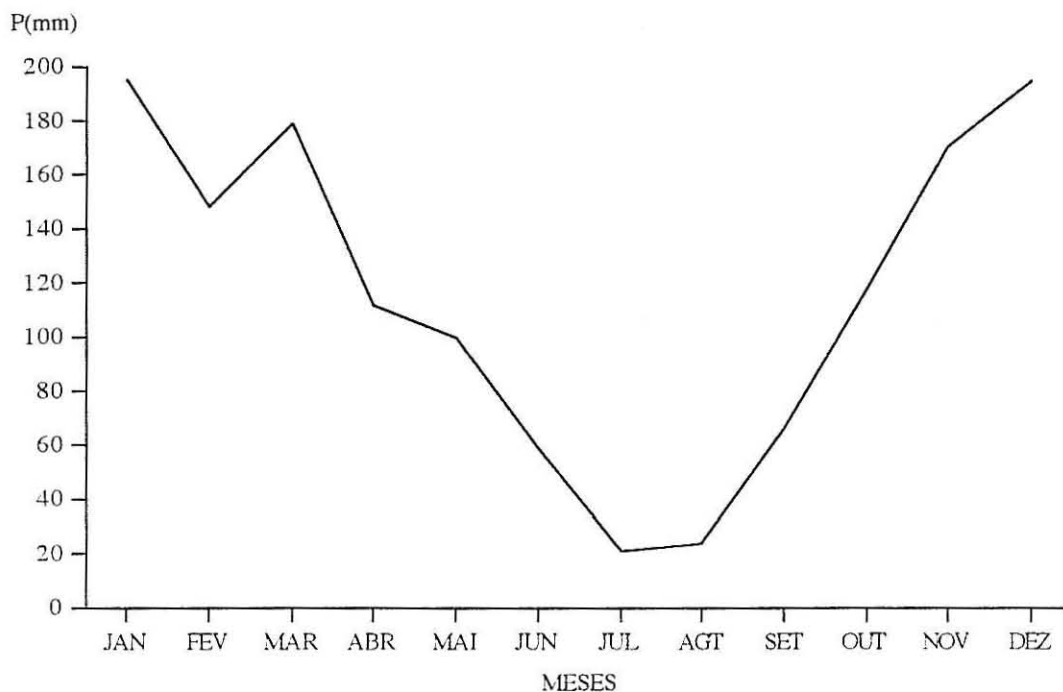


Fig. 3 - Distribuição anual da precipitação para a área em estudo (Serra da Padrela).

A precipitação média anual é de 1381 mm e distribui-se ao longo de todo o ano, apresentando valores máximos no Outono-Inverno, e um máximo secundário na Primavera. Os meses estivais são os mais secos, porém é frequente a precipitação nesta época ultrapassar os 30 mm, quantidade que segundo LAUTENSACH (1951) citado por LENCASTRE e FRANCO (1984) separa os meses áridos dos húmidos.

3.1.1.3 - Classificação climática segundo Thornthwaite

Dada a escassez de registos climáticos na região em causa, seguiu-se o método de Thornthwaite na determinação dos valores mensais da evapotranspiração potencial com vista ao cálculo do balanço hídrico do solo.

Quadro 2 - Balanço hídrico para a Serra da Padrela com os valores de temperatura e precipitação corrigidos.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
P	194,1	147,1	178,4	111,7	99,1	58,2	20,9	23,8	65,5	117,4	170,5	194,5	1381,2
ETp	12,4	14,9	27,8	46,8	67,7	102,3	114,6	128,5	78,0	45,9	24,6	16,7	680,7
P-ETp	181,7	132,2	150,6	64,9	31,4	-44,1	-93,7	-104,7	-12,5	71,5	145,9	177,8	
L	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-44,1	-137,8	-242,5	-255,0	0,0	0,0	0,0	
Arm.	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	64,3	25,2	8,8	7,8	79,3	100,0	100,0	
Var. Arm.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-35,7	-39,1	-16,4	-1,0	71,5	20,7	0,0	0,0
ETr	12,4	14,9	27,8	46,8	67,7	93,9	60,0	40,2	66,5	45,9	24,6	16,7	517,4
Def. Hid	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4	54,6	88,3	11,5	0,0	0,0	0,0	162,8
Sup. Hid.	181,7	132,2	150,6	64,9	31,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	125,2	177,8	863,8

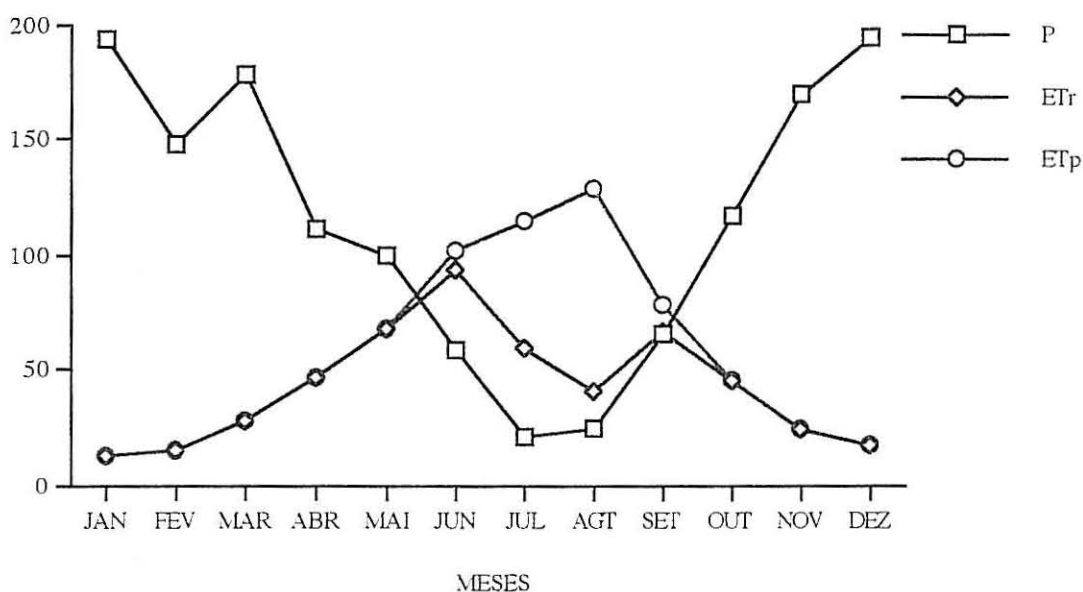


Fig. 4 - Distribuição anual da precipitação, evapotranspiração potencial e evapotranspiração real para a área em estudo (Serra da Padrela).

Observa-se um déficit hídrico entre os meses de Junho e Setembro, sendo este mais acentuado para os meses de Julho e Agosto. De Janeiro a Maio e em Novembro e Dezembro verifica-se um excesso de água no solo.

Com base nos valores anuais médios do déficit hídrico, do *superavit* hídrico e da evapotranspiração potencial, estabeleceram-se os seguintes índices climáticos:

Índice de humidade : 127
 Índice de aridez : 23,9
 Índice hídrico : 112,7
 Con. ef. térm. : 50,8
 Form. climática : A;B'2;s;b'4

Assim, segundo Thornthwaite, o clima da área de amostragem é super-húmido, mesotérmico, com moderada deficiência de água no Verão e moderada concentração da eficiência térmica na estação quente.

3.2 - SOLOS E LITOLOGIA

A serra da Padrela corresponde a um bloco de formações geológicas antigas, com características de transição entre o granito e o xisto. A caracterização dos solos nos povoamentos foi efectuada com base no exame de quatro pedons por povoamento, e na análise de amostras de terra colhidas nos mesmos. Para a observação dos pedons abriram-se covas até ao material litológico em alteração, ou até 120 cm, ao longo de uma trajectória oblíqua do cimo para o fundo da encosta. Na sua maioria os solos são hiperácidos ou ácidos (COSTA, 1985) o que associado ao facto de se tratar de uma região fria e relativamente pluviosa, leva à existência de condições favoráveis à acumulação de matéria orgânica. Em cada povoamento foi seleccionado um pedon representativo, baseando-se os critérios de selecção na maior diferenciação de horizontes e na maior evidência de separação dos mesmos, os quais se representam pelo respectivo perfil.

3.2.1 - Perfis pedológicos representativos e descrição morfológica

A descrição morfológica foi efectuada no campo, de acordo com as normas em uso na secção de Edafologia da UTAD, complementadas por SOIL SURVEY STAFF (1981) e FAO/UNESCO (1988), quer para a descrição em si, quer para a classificação dos horizontes do solo. A classe de textura referida corresponde à obtida por análise laboratorial. A cor foi determinada em húmido.

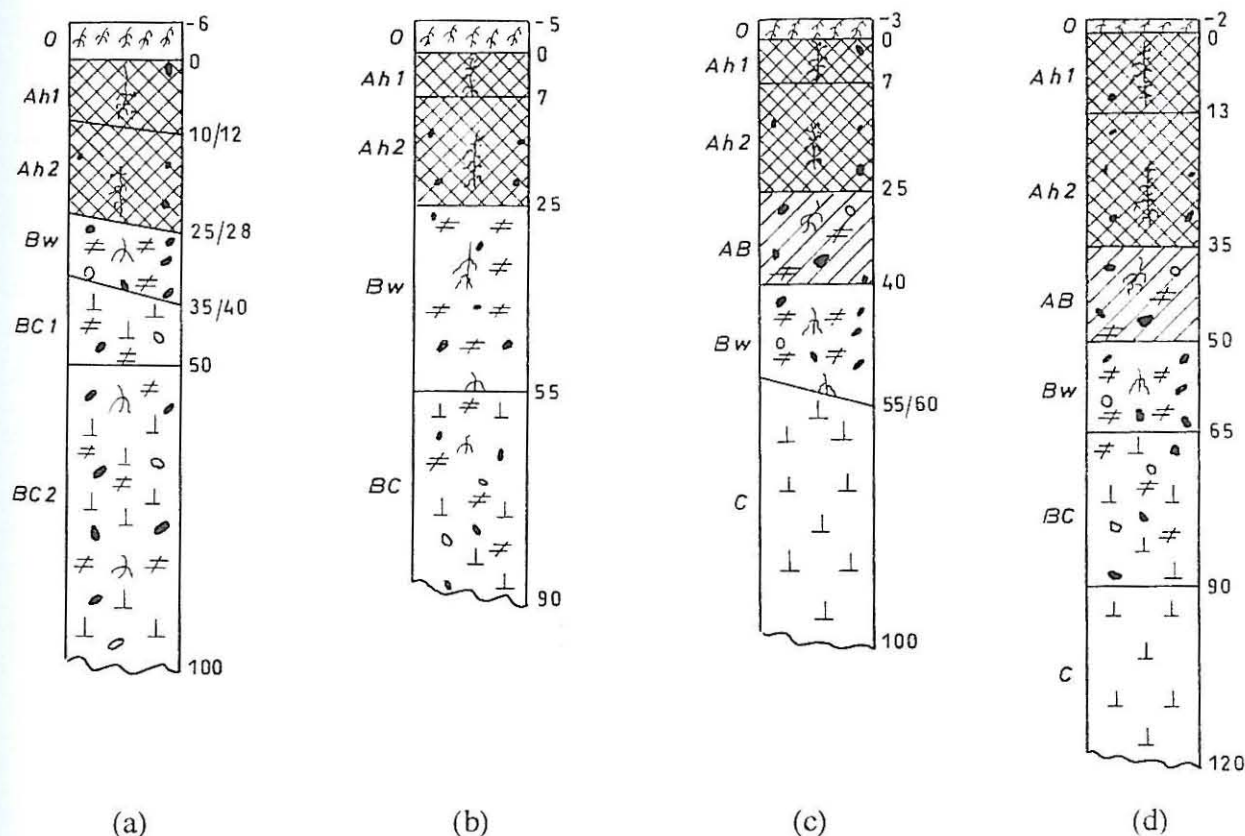


Fig. 5. Esquemas gráficos correspondentes aos perfis representativos para as espécies *P. pinaster* (a); *P. nigra* (b); *P. menziesii* (c); *C. sativa* (d).

Morfologia do perfil do solo sob *P. pinaster*

- Ah (0 - 25/28 cm) - Pardo avermelhado escuro/Pardo, 5YR 3/4 a 7,5YR 4/4; franco, com bastante saibro, cascalho e pedras; agregação grumosa fina e média e anisoforme muito fina, fina e média, moderada; moderadamente poroso; compactidade pequena; muito friável; muitas raízes finas e médias, bastantes grossas e raras muito grossas; húmido; transição difusa ;
- Bw (25/28 - 35/40 cm) - Pardo avermelhado escuro, 5YR 3/4; franco-arenoso, com bastante saibro, cascalho e pedras; agregação grumosa fina e média e anisoforme muito fina, fina e média, moderada; moderadamente poroso; compactidade pequena; muito friável; bastantes raízes finas e médias e algumas grossas; transição gradual;
- BC1 (35/40 - 50 cm) - Alaranjado, 7,5YR 5/6; franco-arenoso a arenoso-franco, com muito saibro, cascalho e pedras; transição gradual;
- BC2 (50 - 100 cm) - Pardo, 10YR 5/6; franco-arenoso; agregação anisoforme fina e média, moderada; moderadamente poroso; compactidade média a grande; muito friável; algumas raízes médias e algumas grossas.

Morfologia do perfil do solo sob *P. nigra*

- Ah1 (0 - 7 cm) - Pardo avermelhado escuro, 5YR 3/3; franco, com algum saibro e cascalho; agregação anisoforme subangulosa fina, média, moderada e grumosa muito fina e fina, moderada; moderadamente a bastante poroso; compactidade pequena; brando; muitas raízes finas e médias; fresco; transição evidente;
- Ah2 (7 - 25 cm) - Pardo avermelhado escuro, 5YR 2,5/2; franco a franco-argilo-arenoso, com muito saibro e cascalho de quartzo e algumas pedras e calhaus; agregação subangulosa fina, média e grosseira, moderada e grumosa muito fina, fina e média, moderada; bastante poroso; compactidade pequena; friável; bastantes raízes finas e médias e algumas grossas; fresco; transição evidente;
- Bw (25 - 55 cm) - Pardo avermelhado escuro, 5YR 3/4; franco-argilo-arenoso, com muito saibro, cascalho, pedras e alguns calhaus; agregação anisoforme subangulosa fina, média e grosseira, moderada e grumosa muito fina, fina e média, moderada; bastante poroso; compactidade pequena; friável; muitas raízes médias, bastantes grossas e bastantes finas; húmido; transição evidente;
- BC (55 - 90 cm) - Alaranjado, 7,5YR 5/6; franco-arenoso, com muito saibro, cascalho, pedras e bastantes calhaus; agregação anisoforme subangulosa fina, média e grosseira, moderada; compactidade média; friável; algumas raízes médias e grossas; húmido.

Morfologia do perfil do solo sob *P. menziesii*

- Ah1 (0 - 7 cm) - Pardo escuro, 10YR 3/3; franco, com muito saibro, cascalho, bastantes pedras e alguns calhaus de xisto e quartzo angulosos a subangulosos; agregação anisoforme fina e média, moderada e grumosa muito fina e fina, moderada; bastante poroso; compactidade mínima; muito friável; bastantes raízes finas; fresco; transição evidente;
- Ah2 (7 - 25 cm) - Pardo escuro, 7,5YR 3/2; franco, com muito saibro, cascalho bastantes pedras e alguns calhaus de xisto e quartzo angulosos a subangulosos; agregação anisoforme fina e média, moderada e grumosa, moderada a forte; moderadamente poroso; compactidade pequena; friável; bastantes raízes finas e médias e algumas grossas; húmido; transição evidente;

- AB (25 - 40 cm) - Pardo escuro, 7,5YR 3/2; franco, com muito saibro, cascalho, bastantes pedras e alguns calhaus; agregação grumosa, moderada; moderadamente poroso; compacidade pequena; friável; bastantes raízes finas, médias e grossas; húmido; transição evidente;
- Bw (40 - 55/60cm) - Pardo, 7,5YR 4/4; franco-argilo-arenoso, com muito saibro, cascalho anguloso e muitas pedras de quartzo e xisto; agregação anisoforme subangulosa fina e média e grumosa muito fina e fina, moderada; moderadamente poroso; compacidade pequena; friável; bastantes raízes finas, médias e grossas; húmido; transição gradual;
- BC (55/60 - 100 cm) - Pardo, 10YR 5/6; franco-arenoso, com muito saibro, cascalho e muitas pedras de quartzo e xisto; agregação anisoforme subangulosa fina e média e grumosa muito fina e fina, moderada; moderadamente poroso; compacidade média; muito friável; poucas raízes finas e médias e algumas grossas; húmido.

Morfologia do perfil do solo sob *C. sativa*

- Ah1 (0 - 13cm) - Pardo escuro, 10YR 3/3; franco, com bastante saibro, cascalho e algumas pedras de xisto e quartzo; agregação anisoforme subangulosa muito fina e fina, moderada e grumosa muito fina e fina, moderada; moderadamente a bastante poroso; compacidade pequena a mínima; muito friável; muitas raízes finas e bastantes médias; fresco; transição evidente;
- Ah2 (13 - 35 cm) - Pardo avermelhado escuro, 7,5YR 3/2; franco, com muito saibro, cascalho e pedras de xisto e quartzo; agregação anisoforme subangulosa muito fina, fina e média, moderada e grumosa muito fina, fina e média, moderada a forte; bastante poroso; compacidade pequena; friável; muitas raízes finas e algumas médias e grossas; transição evidente;
- AB (35 - 50 cm) - Pardo escuro, 7,5YR 3/2; transição evidente;
- Bw (50 - 65 cm) - Pardo escuro, 10YR 3/3; franco-arenoso, com muito saibro, cascalho, pedras de xisto angulosas e subangulosas e de quartzo; agregação grumosa muito fina e fina, moderada; bastante poroso; compacidade pequena; muito friável; muitas raízes finas e médias e algumas grossas; húmido; transição gradual;
- BC (65 - 90 cm) - Pardo muito escuro, 2,5Y 3/2; franco-arenoso, com muito saibro, cascalho, pedras de xisto e quartzo; agregação grumosa muito fina e fina, fraca; bastante poroso; compacidade pequena; muito friável; muitas raízes finas e médias e algumas grossas; húmido; transição gradual;
- C (90 - 120 cm) - Pardo escuro, 2,5Y 4/2; franco-arenoso, com muito cascalho e pedras angulosas e subangulosas; compacidade média a grande; algumas raízes finas e médias; húmido.

De acordo com AGROCONSULTORES e COBA (1991), em todos os casos, estamos em presença de solos integrados na unidade Cambissolos úmbricos órticos de granitos e rochas afins (Buog), sendo no entanto, mais profundos e escuros sob as espécies *P. menziesii* e *C. sativa*.

Os Cambissolos são solos não limitados a menos de 50 cm da superfície por rocha dura contínua e coerente; apresentam um horizonte B câmbico e, a menos que soterrado a mais de 50 cm por novo material, apresentam horizonte superficial de diagnóstico um A úmbrico; sem propriedades sálicas; sem propriedades hidromórficas até 50 cm da superfície (AGROCONSULTORES e COBA, 1991)

3.3 - CARACTERIZAÇÃO DOS POVOAMENTOS E ESPÉCIES EM ESTUDO

3.3.1 - Historial dos povoamentos

Não existe qualquer registo sobre o historial destes povoamentos. No entanto, segundo informação verbal do Eng^o Sardinha - UTAD, foram instalados em áreas que estavam ocupadas por matorral e por alguns exemplares de *Quercus pyrenaica*. Igualmente, não existe informação precisa sobre as intervenções culturais neles realizadas (LOUREIRO, 1986). Sabe-se que foram efectuadas limpezas e desbastes, mas não existe registo de como e quando foram realizados. Trata-se de povoamentos puros regulares e, de um modo geral, as árvores exibem fustes direitos, boa desramação natural e bons crescimentos.

O povoamento de *Pinus pinaster* foi instalado por sementeira a lanço no ano de 1939 (LOUREIRO, 1986).

Os povoamentos de *Pinus nigra* e *Pseudotsuga menziesii* foram instalados por plantação à cova, com plantas de raiz nua de 2 anos de viveiro no ano de 1938 (LOUREIRO, 1986).

O povoamento de *Castanea sativa* foi instalado em 1935 com plantas de viveiro de 1 ano de idade (informação verbal do Eng^o Sardinha - UTAD). O povoamento foi conduzido em alto fuste até 1980, altura em que se realizou um corte e posteriormente explorado em talhadia até 1994, (informação verbal do Prof. Aloísio Loureiro - UTAD). Presentemente está de novo submetido ao regime de alto fuste.

Quadro 3 - Parâmetros dendrométricos dos povoamentos em 1995.

Espécie	N (arv/ha)	t (anos)	h_{dom} (m)	d_g (cm)	G (m ² /ha)	Biomassa morta (ton/ha)
<i>P. pinast</i>	988	56	16,2	25,4	49,1	15,8
<i>P. nigra</i>	475	57	22,8	34,3	43,9	45,0
<i>P. menziesii</i>	313	57	34,8	46,8	53,3	24,4
<i>C. sativa</i>	1438	60	13,3	14,7	24,6	10,9

N - densidade; t - idade; h_{dom} - altura dominante; d_g - diâmetro médio; G - área basal média

Trata-se de povoamentos com idades muito próximas que foram instalados em condições edafo-climáticas idênticas, pelo que as actuais diferenças nos solos parecem poder, justificar-se pela natureza da matéria orgânica produzida nos quatro povoamentos o que suscitou, aliás, este trabalho.

3.3.2 - Breve referência à ecologia das espécies estudadas no caso português

3.3.2.1 - *Pinus pinaster* Ait

Em Portugal, o pinheiro bravo é espontâneo na orla litoral. A sua rusticidade permitiu a sua expansão por todo o Norte do Tejo, essencialmente nas estações em que a vegetação natural foi destruída pela erosão, fogo ou acção humana. Assim, assiste-se a uma gradual substituição das folhosas autóctones pela resinosa indígena mais agressiva e melhor adaptada às condições de clima a Norte do Tejo.

À medida que a latitude decresce esta espécie suporta maiores altitudes, razão por que em Marrocos a vamos encontrar a 2000 m, enquanto que no nosso país, acima de 800 m começa a vegetar com dificuldade. Frequentemente, manifesta boas condições de vegetação, desde o nível do mar até aos 400 m. Prefere quedas pluviométricas anuais da ordem dos 800 mm ou superiores, apresentando no entanto, um "*bom desenvolvimento em situações cuja queda pluviométrica, no trimestre seco ou mesmo nos quatro ou cinco meses secos, não ultrapasse os 50 mm*" (LOUREIRO, 1989).

Apresenta como limites térmicos -15°C e $+40^{\circ}\text{C}$, tem dificuldade em suportar estações muito secas e prefere climas oceânicos.

Em relação às exigências edáficas, manifesta particular tolerância, e exceptuando os solos com muito calcário solúvel, solos hidromórficos ou com má drenagem, suporta os mais variados tipos de solos (arenosos, derivados de arenito, de xistos argilosos, de calcários margosos - embora sem calcário activo), preferindo no entanto, os siliciosos. Daí o seu comportamento excepcional como espécie pioneira (ALVES, 1988).

Frutifica abundantemente, sendo fácil a disseminação, embora a semente não alcance grandes distâncias. Desde que vegete em situações favoráveis ao seu desenvolvimento, exhibe crescimento rápido.

3.3.2.2 - *Pinus nigra* Arnold

Segundo LOURO (1982), esta espécie deve ter sido introduzida em Portugal nos anos 20 e Trás-os-Montes é a região onde se verificou mais a sua expansão.

Trata-se de uma espécie muito plástica, frequentemente utilizada na arborização de certas zonas pouco favoráveis ao crescimento de outras resinosas mais exigentes, "*nomeadamente os cabeços ventosos das zonas acima dos 700 m e as situações pedologicamente degradadas dos nossos, aliás muito frequentes, litossolos de xisto*" (ALVES, 1988).

A altitude varia de 250 a 2000 m (LOUREIRO, 1986) e apresenta uma faculdade considerável de resistir à secura e ao frio (D'EPENOUX, 1994). É intolerante à sombra e dada a sua rebentação tardia, apresenta grande resistência às geadas primaveris.

No que respeita ao solo, revela grande plasticidade tendo preferência por solos argilosos bem drenados e não compactados e de reacção ácida ou sub-ácida.

3.3.2.3 - *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) variedade Franco

Entre nós, considera-se uma espécie extremamente promissora, que tem suscitado bastante interesse, devido essencialmente ao excelente comportamento dos dois mais importantes núcleos existentes no nosso país - Manteigas e Vila Pouca de Aguiar.

Apresenta uma área de expansão natural extensa e vegeta em zonas climaticamente muito distintas, com precipitações entre 500 e 3000 mm, e temperaturas entre -34°C e +43°C. É bastante sensível a situações ventosas. Em Portugal, a sua introdução é recomendável nas zonas serranas acima dos 700 m em clima de influência atlântica, e acima dos 800 m nas situações de transição para a continentalidade (ALVES, 1988). No que diz respeito aos solos, agradece terrenos arejados susceptíveis de armazenamento de água que faça face à secura estival. Suporta mal solos com má drenagem e ricos em calcário (LOUREIRO, 1986), prefere pH com valores entre 5 e 5,5 (ALVES, 1988).

3.3.2.4 - *Castanea sativa* Miller

Provavelmente a introdução do castanheiro no nosso país, é anterior à época romana (PAIVA, 1990). Existe em quase todo o país, vegeta bem em solos neutros ou ácidos (pH 4,5 - 7,0), não tolera solos calcários, preferindo os solos com moderada e elevada reserva de água útil, sendo mais frequente a sua ocorrência nas regiões montanhosas do interior, particularmente nas Beiras, Minho e Trás-os-Montes. Desenvolve-se bem nas encostas montanhosas pouco elevadas, com altitudes que não ultrapassem os 600 a 800 m, e nos vales. Suporta razoavelmente bem o período de secura característico do Verão variando os valores de precipitação média anual entre os 800 e os 1600 mm (ALVES, 1988).

É habitualmente explorado em talhadia, já que a curta periodicidade permite rendimentos escalonados no tempo. No entanto, este rendimento pode ser mais elevado se o castanheiro for submetido ao regime de alto fuste dada a possibilidade de outros tipos de utilização do seu material lenhoso, muito mais valorizados (MAIA *et al.*, sd).

Em Portugal é maioritariamente explorado para fruto e a área ocupada por castanheiros sofreu um decréscimo até à década de 90, devido essencialmente à doença da “tinta do castanheiro”, ao decréscimo da importância da castanha como alimento e à ocorrência de incêndios (PAIVA, 1990). A partir desta altura as áreas de castanheiro têm aumentado, quer para a produção de madeira, quer para a produção de fruto.

3.4 - RECOLHA DE AMOSTRAS NO CAMPO

3.4.1 - Recolha de amostras no horizonte orgânico

Uma vez seleccionadas as áreas de amostragem, procedeu-se à selecção dos locais de recolha do material orgânico. Em cada um dos povoamentos foram seleccionados 15 locais ao acaso. Seguiu-se a recolha do material orgânico numa área de 0,49 m² por cada local. Cada amostra foi subdividida segundo os critérios morfológicos em L - resíduos orgânicos intactos; F - resíduos orgânicos em estado de decomposição mais ou menos avançado; H - correspondente à incorporação da matéria orgânica com o horizonte mineral subjacente onde já não é possível distinguir, à vista desarmada, os componentes dos resíduos orgânicos.

Após a recolha dos resíduos as camadas L e F foram separadas em 3 fracções: agulhas ou folhas, pinhas ou ouriços e ramos. Assim, o horizonte orgânico O ficou subdividido em 7 subhorizontes: Lagulhas ou Lfolhas; Lpinhas ou Louriços; Lramos; Fagulhas ou Ffolhas; Fpinhas ou Fouriços; Framos e H, de acordo com as espécies coníferas e caducifólias.

Posteriormente, agruparam-se 3 a 3 as amostras de cada um dos subhorizontes, prefazendo 5 amostras por subhorizonte, num total de 35 amostras por espécie.

Estas amostras de biomassa morta foram pesadas após secagem a 65°C até peso constante e moídas em moínho de facas, seguidas de análise laboratorial com vista à determinação dos teores em nutrientes principais (N, P, K), nutrientes secundários (Ca, Mg, S) e teor de carbono. As determinações efectuadas têm por objectivo avaliar as diferenças na composição química dos resíduos orgânicos das espécies em estudo.

3.4.2 - Recolha de amostras nos horizontes minerais dos perfis

Em cada povoamento abriram-se quatro trincheiras até ao material litológico em alteração, ou 120 cm, seguindo-se a descrição de campo dos perfis obtidos, nomeadamente no que se refere à cor, morfologia e características físicas. Depois de identificados os vários horizontes, efectuou-se a recolha de amostras em todos os horizontes Ah1, Ah2, B e C. Só em alguns horizontes de transição é que se recolheu amostras, particularmente no horizonte BC, já que estes variam muito de perfil para perfil dentro da mesma espécie e entre espécies. As amostras assim recolhidas foram secas a 45°C, crivadas (crivo de malha de 2 mm) e analisadas em laboratório para alguns parâmetros físicos e químicos.

3.4.3 - Recolha de amostras para a determinação da densidade aparente

Para esta determinação utilizaram-se amostras não perturbadas colhidas com um cilindro de 380 cm³ de volume no horizonte mineral Ah1. Na sua recolha surgiram bastantes dificuldades, na medida em que este horizonte mineral apresentava grandes quantidades de raízes e elementos grosseiros. O mesmo problema surgiu a FEDERER *et al.* (1992), quando procederam à recolha de amostras não perturbadas em solos florestais. Posteriormente as amostras foram secas a 105°C e determinada a densidade aparente total e para a fracção de terra fina.

3.4.4 - Recolha de amostras para a determinação da estabilidade da agregação

Em cada povoamento foram seleccionados 10 locais ao acaso. Após a sua selecção, removeram-se os detritos orgânicos e colheram-se amostras nos horizontes Ah1 e Ah2. As amostras naturais foram secas ao ar, seguidas da avaliação da estabilidade dos agregados que as integravam.

3.5 - METODOLOGIA UTILIZADA

3.5.1 - Análises Físicas

Todas as análises físicas foram efectuadas no Laboratório de Solos da UTAD.

3.5.1.1 - Densidade aparente e porosidade

A densidade aparente foi determinada em amostras não perturbadas com sonda de volume conhecido.

A porosidade foi avaliada por via indirecta através da fórmula:

$$P = ((dr - dap)/dr)*100$$

em que: $dr = (2,65 - (1,5*\%MO)/100)/100$

3.5.1.2 - Estabilidade da Agregação

Determinou-se pelo método de crivagem com agitação em água utilizando-se para o efeito um sedimentador representado na Figura 6.

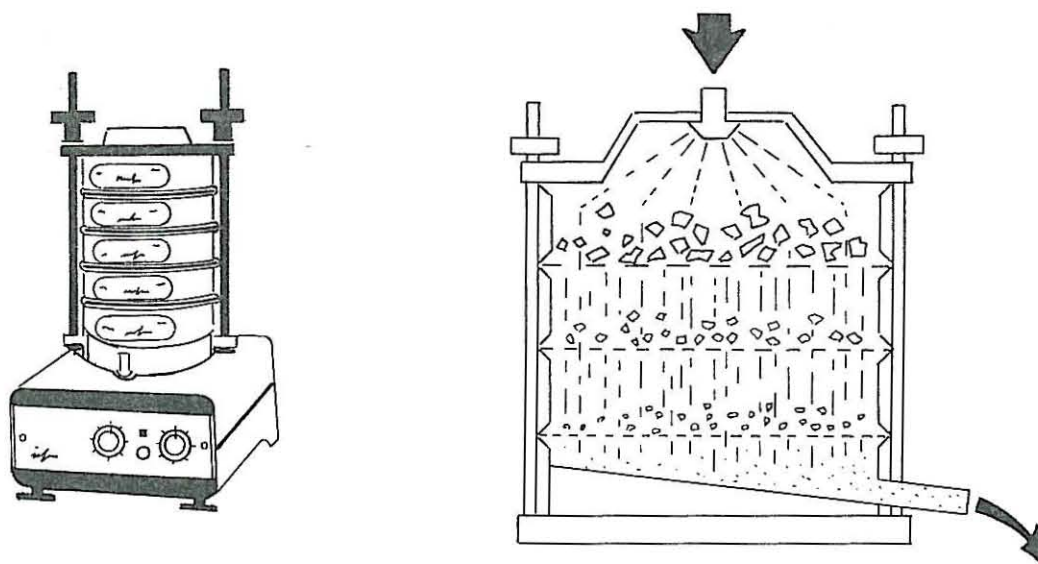


Fig. 6. Esquema do sedimentador utilizado na determinação da estabilidade da agregação

O aparelho consta de cinco crivos com diâmetros de malha 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm e 0,2 mm sobrepostos no sentido crescente do diâmetro da malha. Possui um sistema de vibrações e a tampa está munida de um aspersor que foi ligado a um fluxo de água a pressão constante.

A fim de testar o aparelho foi utilizada uma amostra extremamente estável, retirada de um Vertissolo eutrício (FAO/UNESCO, 1988) da Tapada da Ajuda em Lisboa. Depois de vários ensaios optou-se pelas condições que se seguem e que permitiram obter em média 60% de agregados no total para um conjunto de 3 repetições.

- (a) - 120 g de amostra natural lançada no primeiro crivo;
- (b) - humedecimento da amostra por meio do aspersor durante 5 minutos, a pressão constante;
- (c) - agitação a 40 vibrações por minuto e humedecimento simultâneo com o aspersor, durante 10 minutos.

Após estas operações:

- 1 - os crivos foram levados à estufa a 75°C até o solo se separar facilmente das paredes. Seguiu-se a crivagem crivo a crivo (isto é do anterior para o seguinte), recolhendo-se separadamente o material retido em cada um dos crivos, não se contabilizando o material caído do último crivo;

- 2 - as 5 amostras assim obtidas foram colocadas em estufa a 105°C até peso constante;
- 3 - seguiu-se a pesagem e lavagem das amostras, de cada crivo, com água de modo a desfazer completamente todos os agregados. Cada amostra de material foi passada de novo pelo crivo respectivo onde ficaram retidas as partículas individuais de dimensão superior à malha do crivo;
- 4 - repetição das operações 1 e 2 seguidas novamente de pesagem.

Deste modo, obteve-se a percentagem de agregados por classe de diâmetro e a percentagem total de agregados. Os valores foram convertidos em percentagem de solo seco.

3.5.1.3 - Percentagem de elementos grosseiros

A amostra total (elementos grosseiros e terra fina) foi seca em estufa a 45°C, seguida de passagem por crivo de malha de 2 mm. Os elementos grosseiros foram incluídos num só lote e expressos em percentagem em relação ao peso total da amostra.

3.5.1.4 - Textura

Todas as amostras continham percentagem de matéria orgânica superior a 1% pelo que foram sujeitas a um pré-tratamento com vista à destruição da mesma. Utilizou-se, para o efeito, água oxigenada a 20 volumes e aquecimento em placa a temperatura de cerca de 80°C.

As proporções dos quatro lotes de terra fina (areia grossa, areia fina, limo e argila) foram determinadas pelo processo de análise mecânica, descrito por SILVA (1967). Na determinação da areia grossa utilizou-se o método de crivagem, na determinação do limo e argila o método de pipetagem e na determinação de areia fina o método de sedimentação e decantação. Os valores assim obtidos permitiram determinar a classe de textura, a partir do diagrama triangular proposto por GOMES e SILVA (1962), para os perfis representativos.

3.5.1.5 - Colheita da fracção argila para identificação da sua mineralogia

Numa primeira fase procedeu-se à destruição da matéria orgânica pelo mesmo processo já referido na determinação dos lotes de terra fina, seguida de dispersão com hidróxido de sódio 1 M e agitação durante 15 minutos.

Seguiu-se a colheita de argila, depois de sedimentada de acordo com a lei de STOKES, após ter sido floculada por ácido clorídrico a 10% até valores de pH de 4 a 4,5 e quando necessário umas gotas de $MgCl_2$ 1 M. Posteriormente a argila foi isolada por centrifugação e

lavagem com água e metanol. Por fim, foi colocada em estufa a 45°C e moída em almofariz até ficar em pó.

3.5.2 - Análises Químicas

3.5.2.1 - Matéria mineral

As análises químicas foram igualmente efectuadas no Laboratório de Solos da UTAD.

3.5.2.1.1 - Carbono orgânico e Matéria orgânica

O teor de carbono foi calculado segundo o método WALKLEY-BLACK (1934) modificado, em uso no Laboratório de Solos da UTAD. A quantidade de matéria orgânica foi determinada por multiplicação do teor de carbono pelo factor 1,724.

3.5.2.1.2 - Valores de pH

Os valores de pH, em H₂O e KCl, foram determinados pelo método potenciométrico, descrito por MCLEAN (1982).

3.5.2.1.3 - Azoto total

O teor de azoto total foi determinado no extracto após digestão da amostra com H₂SO₄ + H₂O₂, segundo o método descrito por HOUBA *et al.* (1986).

3.5.2.1.4 - Fósforo e potássio assimiláveis

Analizados pelo método de Egner-Riehm, descrito por BALBINO (1968).

O teor de potássio foi determinado por espectrofotometria de emissão de chama e o teor de fósforo por espectrofotometria do visível UV.

3.5.2.1.5 - Bases de troca

A análise do Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ de troca foi realizada através da extracção com uma solução de $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$ 1 M a pH 7,0 (THOMAS, 1982). A determinação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} no extracto foi realizada por espectrofotometria de absorção atómica e a dos teores de K^+ e Na^+ realizada por espectrofotometria de emissão de chama.

3.5.2.1.6 - Capacidade de troca catiónica potencial

Foi determinada através da extracção com uma solução de $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$ 1 M a pH 7,0, após um período de contacto do solo com o extratante de 16 h e agitação de 1 h. Procedeu-se à lavagem com $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ a 70% e à substituição do ião NH_4^+ adsorvido com uma solução de CaCl_2 1 M acidificada com HCl (HOUBA *et al.*, 1986).

3.5.2.1.7 - Acidez de troca e alumínio de troca

Determinados por extracção com KCl 1 M, seguido de agitação e centrifugação dos extractos. A acidez de troca foi quantificada por titulação com NaOH 0,05 M e o alumínio de troca por retrotitulação com HCl 0,05 M (THOMAS, 1982).

Com base em algumas destas determinações químicas, foi possível determinar a capacidade de troca catiónica efectiva, soma das bases de troca, saturação em bases e saturação em acidez.

3.5.2.2 - Material vegetal

3.5.2.2.1 - Azoto e fósforo

Após digestão da amostra com $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$, o azoto e o fósforo foram analisados nos respectivos extractos por espectrofotometria de absorção molecular, num autoanalisador de fluxo segmentado.

O teor de azoto foi determinado pela reacção de Berthelot e o teor de fósforo foi determinado pelo método do molibdato de amónio/ácido ascórbico (MURPHY e RILEY, 1962).

3.5.2.2.2 - Cálcio, magnésio, potássio e enxofre

Foram analisados após digestão via húmida com $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$.

Os teores de cálcio e magnésio foram calculados por espectrofotometria de absorção atômica.

O teor de potássio foi determinado por espectrofotometria de emissão de chama.

O teor de enxofre foi determinado por turbidimetria em autoanalisador de fluxo segmentado pelo método descrito por COUTINHO (1996).

3.5.2.2.3 - Carbono orgânico e cinzas

Determinados por incineração de 1g de cada amostra com 3 repetições, a 450°C durante 6h.

3.5.3 - Identificação da mineralogia da argila

Foi utilizado o método de difracção por Raios X e efectuada no Departamento de Pedologia da Estação Agronómica Nacional. Utilizou-se um difractómetro *PW 1840*.

3.6 - PROGRAMA INFORMÁTICO UTILIZADO NO TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS

Systat versão 5.0, teste de comparação de médias de BONFERRONI, adaptado ao computador PC.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - HORIZONTES ORGÂNICOS

De seguida, apresentam-se os resultados de biomassa existente nos horizontes orgânicos e respectivas concentrações de elementos minerais nos mesmos. Para verificação de existência ou não de diferenças, comparam-se os níveis de significância dos valores médios encontrados, de modo a observar-se o comportamento das espécies e suas consequências.

4.1.1 - Biomassa dos horizontes orgânicos

A acumulação de resíduos no solo é mais elevada para as resinosas (*P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii*) que para a folhosa (*C. sativa*). Sob as resinosas existe uma grande quantidade de restos orgânicos pouco decompostos, sob a folhosa há uma maior transformação e incorporação do material orgânico. O mesmo foi observado por VIQUEIRA *et al.* (1982) num trabalho realizado em Espanha e por RAPP (1984) num trabalho realizado em França, o que vem na sequência dos resultados obtidos por MARTINS (1997) nos mesmos povoamentos. Em estudo de decomposição de folhada conduzido naqueles povoamentos obtiveram-se os seguintes resultados expressos em perda de peso anual: 15,3% para o *P. nigra*, 18,3% para o *P. pinaster*, 29,7% para a *P. menziesii* e 41,7% para a *C. sativa*, valores que estão, em geral, de acordo com os obtidos para a massa de horizontes orgânicos.

Conforme resultados expressos no Quadro 4, ilustrados na Figura 7, a quantidade de resíduos orgânicos no horizonte O (L+F+H) é superior para a espécie *P. nigra* - 59,3 ton ha⁻¹, seguida das espécies *P. menziesii* - 33,0 ton ha⁻¹ e *P. pinaster* - 23,5 ton ha⁻¹ e por último a espécie *C. sativa* - 16,6 ton ha⁻¹. Apesar da espécie *P. pinaster* apresentar uma produção de resíduos relativamente baixa, de acordo com 3.2.1 é a que mostra horizonte O mais espesso. Este facto está associado com as dimensões dos resíduos produzidos (mais elevadas para esta espécie) e com a baixa taxa de decomposição.

O menor valor encontrado para a espécie *C. sativa* pode ser explicado pela superior taxa de decomposição e por este povoamento ter sido submetido a um corte raso em 1980, o que tem consequências importante ao nível do solo, nomeadamente, alteração na produção e qualidade da biomassa, modificação da vegetação espontânea e diminuição do compartimento microbiano (MERZOUKI *et al.*, 1989). A exportação de material vegetal modifica as condições microclimáticas, pedoclimáticas e ganhos pelo solo de material carbonado, resultando numa maior mineralização dos resíduos existentes (MERZOUKI *et al.*, 1989). Por outro lado, estes resíduos contêm menor quantidade de lenhina quando comparados com as restantes espécies (AZEVEDO, 1997), o que justifica a taxa de decomposição mais elevada. Seguiu-se a este corte raso a exploração em regime de talhadia, o que implicou a exportação de material vegetal

jovem. Sendo o teor em elementos minerais mais elevado nos tecidos jovens que nos tecidos adultos (ALVES e PEREIRA, 1990), pode resultar, a longo prazo, uma redução da fertilidade do solo. Já o valor registado para a espécie *P. pinaster* explica-se pela exportação de folhada (agulhas e pinhas) para combustível doméstico e pela menor densidade de copado por hectare. Os valores das espécies *P. nigra* e *P. menziesii* explicam-se essencialmente pelo tamanho das agulhas, estando a principal diferença entre estas duas espécies no ritmo de produção de pinhas (muito elevada para a espécie *P. nigra*) (Quadro 4) e na taxa de decomposição (mais elevada para a espécie *P. menziesii*).

Os valores individuais de biomassa das quatro espécies constam nos Quadros A.1, A.2, A.3, e A.4.

Quadro 4 - Valores médios de biomassa por camada para as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

Espécie	Camada	Agul/Fol (ton ha ⁻¹)	Pinh/Our (ton ha ⁻¹)	Ramos (ton ha ⁻¹)	Total (ton ha ⁻¹)
<i>P. pinaster</i>	L	3.5	0.5	0.9	4.9
	F	9.9	0.1	0.9	10.9
	H				7.9
	L+F+H				23.5
<i>P. nigra</i>	L	3.6	10.7	5.3	19.6
	F	17.1	5.7	2.6	25.4
	H				14.3
	L+F+H				59.3
<i>P. menziesii</i>	L	4.6	0.5	6.6	11.7
	F	12.0	0.1	0.6	12.7
	H				8.6
	L+F+H				33.0
<i>C. sativa</i>	L	2.0	0.2	0.7	2.9
	F	7.2	0.2	0.6	8.0
	H				5.7
	L+F+H				16.6

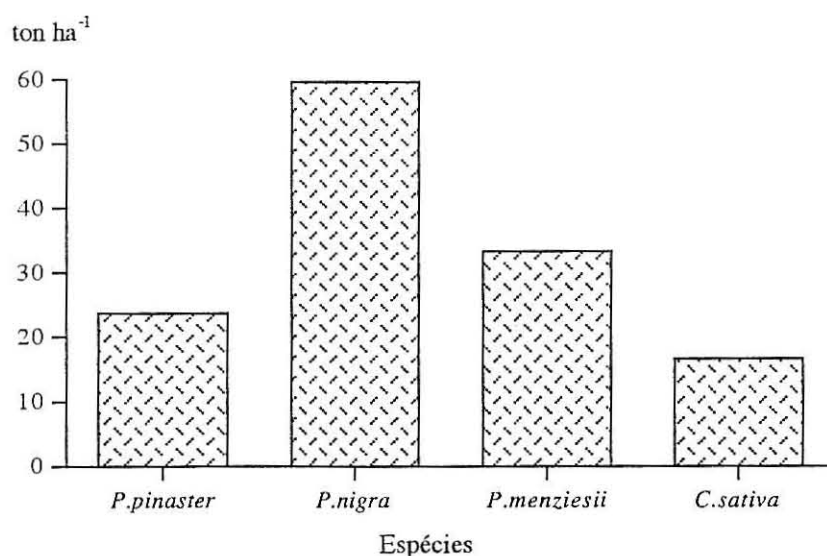


Fig. 7 - Valor médio total de biomassa para as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

4.1.2 - Concentração de elementos minerais nos horizontes orgânicos

A composição química dos horizontes orgânicos tem um efeito significativo na taxa de decomposição e libertação de nutrientes, na população de organismos do solo e crescimento das espécies vegetais (PRITCHETT e FISHER, 1987).

O conteúdo total de nutrientes é prescrito pela quantidade e composição dos resíduos, o que por sua vez, é influenciado pela vegetação florestal, clima, solo mineral e período de acumulação de resíduos (PRITCHETT e FISHER, 1987). Os elementos minerais libertados a partir da decomposição dos horizontes orgânicos podem ser transportados e incorporados nos horizontes subjacentes (RANGER e BONNEAU, 1984) ou absorvidos pelas raízes nessas mesmas camadas.

Como referido em 3.4.1. e 2.1.2, os subhorizontes orgânicos estão bem estratificados e apresentam estados específicos de decomposição. As concentrações médias de cinzas e elementos minerais nos vários subhorizontes orgânicos são apresentadas nos Quadros 5, 6, 7 e 8. Nestes Quadros constam os valores médios obtidos pelo teste de comparação de médias de BONFERRONI.

Quadro 5 - Teor em cinzas e concentração em elementos minerais no subhorizonte L de acordo com a natureza dos resíduos orgânicos.

Espécie	Camada	Cinzas (%)	C (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)	C/N
<i>P. Pinaster</i>	Lagulhas ou Lfolhas	2.1a	56.8b	0.55a	0.44b	0.03a	0.13a	0.10a	0.07a	104b
<i>P. nigra</i>		1.4a	57.2b	0.79a	0.04a	0.09b	0.23b	0.07a	0.07a	85b
<i>P. menziesii</i>		9.4b	52.6a	1.43b	0.84c	0.11bc	0.16a	0.26b	0.16b	37a
<i>C. sativa</i>		3.4a	56.0b	1.51b	0.56b	0.12c	0.24b	0.14c	0.13b	37a
<i>P. Pinaster</i>	Lpinhas ou Louriços	1.0a	57.4a	0.76ab	0.09a	0.06a	0.07ac	0.15b	0.08a	88a
<i>P. nigra</i>		0.6a	57.7a	0.49a	0.02a	0.10b	0.05a	0.03a	0.03a	166b
<i>P. menziesii</i>		3.4a	56.2a	0.53a	0.22b	0.04a	0.10c	0.14ab	0.07a	114ab
<i>C. sativa</i>		4.6a	55.4a	1.30b	0.33c	0.11b	0.19b	0.13ab	0.09a	43a
<i>P. Pinaster</i>	Lramos	2.1a	56.7a	0.56ab	0.48bc	0.03a	0.08a	0.07ab	0.04a	121a
<i>P. nigra</i>		1.4a	57.2a	0.33a	0.02a	0.03a	0.16b	0.03a	0.02a	176b
<i>P. menziesii</i>		1.6a	57.1a	0.49ab	0.43b	0.04a	0.06a	0.10b	0.03a	117a
<i>C. sativa</i>		1.9a	56.9a	0.86b	0.47bc	0.06a	0.11ab	0.07ab	0.04a	69a
<i>P. Pinaster</i>	Valores médios ponderados	2.0a	56.8a	0.57a	0.41b	0.03a	0.12a	0.10b	0.07a	
<i>P. nigra</i>		1.0a	57.4a	0.50a	0.05a	0.08ab	0.11a	0.04a	0.03a	
<i>P. menziesii</i>		4.7a	55.3a	0.86ab	0.58b	0.06a	0.10a	0.16b	0.08a	
<i>C. sativa</i>		3.2a	56.1a	1.34b	0.52b	0.11b	0.20a	0.12b	0.10a	

Os valores médios apresentados nas colunas seguidos da mesma letra não diferem significativamente ($P < 0,05$)

Quadro 6 - Teor em cinzas e concentração em elementos minerais no subhorizonte F de acordo com a natureza dos resíduos orgânicos

Espécie	Camada	Cinzas (%)	C (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)	C/N
<i>P. Pinaster</i>	Fagulhas ou Ffolhas	23.0a	44.7b	1.40a	0.40ac	0.08a	0.19a	0.29a	0.20a	38b
<i>P. nigra</i>		20.9a	45.9b	1.33a	0.09a	0.34b	0.17a	0.13a	0.19a	34bc
<i>P. menziesii</i>		40.8b	34.4a	1.85ab	1.07b	0.14ac	0.45b	0.70b	0.26b	20ab
<i>C. sativa</i>		37.1b	36.5a	2.28b	0.58c	0.19c	0.45b	0.40ab	0.23ab	16ac
<i>P. Pinaster</i>	Fpinhas ou Fouriços	3.7a	55.9a	0.87a	0.08a	0.06a	0.07a	0.10ab	0.13ab	61ac
<i>P. nigra</i>		2.8a	56.4a	0.54a	0.03a	0.07a	0.11a	0.04a	0.06a	106b
<i>P. menziesii</i>		6.5a	54.3a	0.75a	0.35b	0.05a	0.11a	0.18ab	0.09ab	76ab
<i>C. sativa</i>		10.4a	52.0a	1.67b	0.46b	0.13b	0.28b	0.23b	0.14b	31c
<i>P. Pinaster</i>	Framos	2.9a	56.3a	0.54a	0.36b	0.36b	0.08a	0.07ac	0.05a	104b
<i>P. nigra</i>		2.5a	56.6a	0.45a	0.05a	0.05a	0.13a	0.04a	0.04a	131b
<i>P. menziesii</i>		3.2a	56.2a	0.63a	0.50b	0.04a	0.08a	0.10bc	0.05a	97b
<i>C. sativa</i>		4.5a	55.4a	1.15b	0.47b	0.07a	0.13a	0.09c	0.07a	50a
<i>P. Pinaster</i>	Valores médios ponderados	21.6a	45.7b	1.32a	0.40ac	0.11a	0.18a	0.27a	0.19a	
<i>P. nigra</i>		14.9a	49.3b	1.07a	0.07a	0.25a	0.15a	0.10a	0.14a	
<i>P. menziesii</i>		38.6b	35.6a	1.78ab	1.04b	0.13a	0.43b	0.66b	0.25b	
<i>C. sativa</i>		34.0b	38.3a	2.18b	0.57c	0.18a	0.42b	0.38ab	0.22b	

Os valores médios apresentados nas colunas seguidos da mesma letra não diferem significativamente ($P < 0,05$)

Quadro 7 - Teor em cinzas e concentração em elementos minerais no subhorizonte H.

Espécie	Camada	Cinzas (%)	C (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)	C/N	pH
<i>P. Pinaster</i>	H	63.2ab	21.3ab	1.20a	0.31a	0.08a	0.59a	1.05a	0.16a	19b	3.8a
<i>P. nigra</i>		58.0a	24.4a	1.45ab	0.11a	0.12a	0.48a	1.30a	0.22a	17b	3.5a
<i>P. menziesii</i>		75.2b	14.4b	1.92ab	1.04b	0.20a	1.46b	2.53b	0.30b	8a	4.7b
<i>C. sativa</i>		73.5b	15.4b	2.28b	0.48a	0.32b	1.21c	1.95b	0.30b	7a	4.4b

Os valores médios apresentados nas colunas seguidos da mesma letra não diferem significativamente ($P < 0,05$)

Quadro 8 - Teor em cinzas e concentração em elementos minerais no conjunto dos três subhorizontes orgânicos.

Espécie	Cinzas (%)	C (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)	C/N
<i>P. Pinaster</i>	15.0a	49.3a	0.84a	0.33b	0.10a	0.18a	0.28a	0.10a	78bc
<i>P. nigra</i>	12.5a	50.8a	0.77a	0.05a	0.12a	0.19a	0.24a	0.09a	102b
<i>P. menziesii</i>	20.8a	46.0a	1.11a	0.66c	0.09a	0.36a	0.60a	0.14a	66ac
<i>C. sativa</i>	19.4a	46.8a	1.58b	0.48b	0.14a	0.37a	0.43a	0.14a	36a

Os valores médios apresentados nas colunas seguidos da mesma letra não diferem significativamente ($P < 0,05$)

As concentrações dos elementos minerais foram calculadas após dedução das cinzas. Isto permite eliminar a contaminação mineral a que o substrato está sujeito, e que é muito variável, mas aumenta com o grau de decomposição dos resíduos, ou seja, aumenta do subhorizonte L para o H (RAPP, 1984; WESEMAEL, 1993).

Conforme os resultados expressos, observa-se que quando o horizonte orgânico é tomado na totalidade (L+F+H), o comportamento entre espécies tende a ser idêntico. Mas, quando este é estratificado em L, F e H e dentro destas camadas nos diferentes componentes orgânicos, observam-se frequentemente, diferenças significativas entre espécies, pelo que se fará a discussão de camada a camada e de elemento mineral a elemento mineral.

Os níveis críticos referidos para a concentração de nutrientes nas folhas e agulhas, referem-se a material senescente.

Os valores individuais das concentrações em cinzas e elementos minerais das quatro espécies constam nos Quadros A.5, A.6, A.7, A.8, A.9, A.10, A.11 e A.12.

4.1.2.1 - Cinzas

No conjunto dos três subhorizontes, horizonte O (Fig. 8a), o conteúdo em cinzas não difere significativamente entre espécies. No entanto, apresenta valores superiores para a *P. menziesii* e *C. sativa*.

Em relação ao subhorizonte L (Fig. 8b), constata-se que o teor relativo de cinzas é globalmente mais elevado para a camada Lagulhas ou Lfolhas, apresentando a *P. menziesii* valor bastante superior que difere significativamente das restantes espécies. Este valor poderá encontrar explicação na contaminação por matéria mineral causada pelos salpicos da água da chuva, apesar de ter havido o cuidado de a eliminar o mais possível.

Em comparação com o subhorizonte L, o teor em cinzas no subhorizonte F (Fig. 8c) é mais elevado, o que era de esperar já que o material orgânico está num estado de decomposição mais avançado e vai incrementando a união com a fracção mineral. Esta diferença é mais notória para as agulhas e folhas, diferindo significativamente as espécies *P. menziesii* e *C. sativa* das restantes, uma vez que as pinhas e ramos são mais resistentes à decomposição.

O subhorizonte H (Fig. 8d), dado tratar-se duma camada onde ocorre uma grande mistura com a matéria mineral e onde o grau de humificação é superior, o teor em cinzas é muito elevado. A espécie *P. nigra* é a que apresenta menor valor, diferindo significativamente das espécies *P. menziesii* e *C. sativa*.

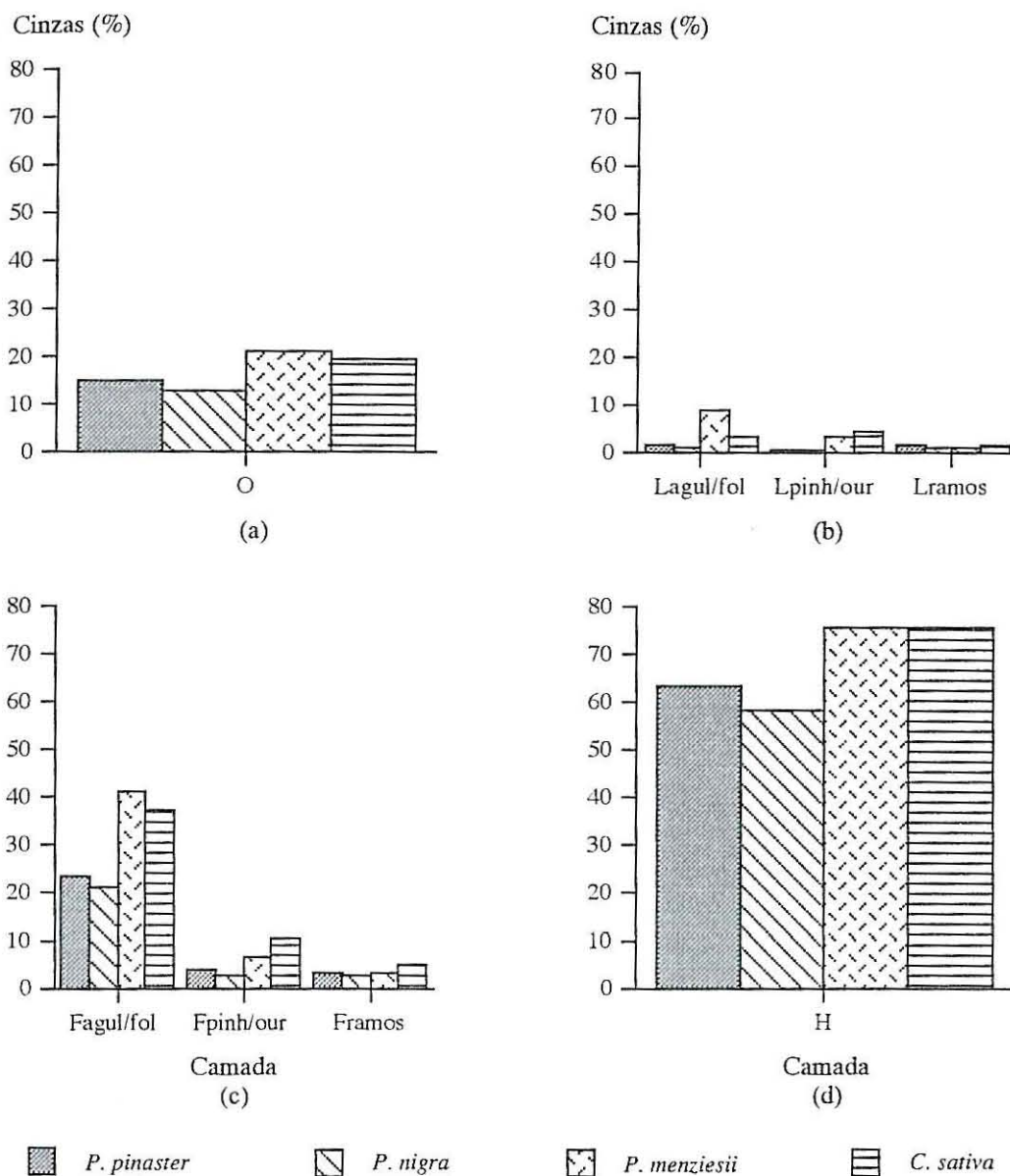


Fig. 8 - Teor em cinzas dos resíduos orgânicos das espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii*, e *C. sativa* para as camadas O (a); L (b); F (c); H (d)

O aumento do conteúdo em cinzas com a profundidade dos subhorizontes (Fig. 9) é atribuído, fundamentalmente, à contaminação por matéria mineral pela fauna do solo e em menor dimensão ao enriquecimento em sais por decomposição dos carboidratos (WESEMAEL, 1993). Observa-se comportamento muito semelhante entre a *P. menziesii* e a *C. sativa*, o que está associado com a idêntica concentração de nutrientes nos resíduos e com taxas de decomposição mais elevadas.

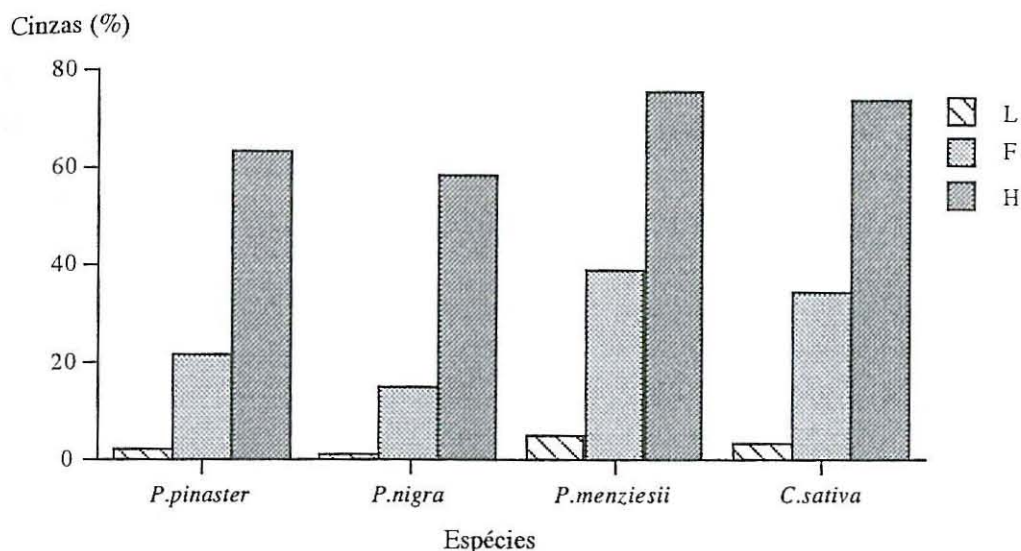


Fig. 9 - Evolução do teor em cinzas com o processo de humificação

BRAY e GORHAM (1964) citados por PRITCHETT e FISHER (1987), referem que o teor em cinzas nos resíduos orgânicos de gimnospérmicas é mais baixo que nos resíduos orgânicos de angiospérmicas. Referem ainda que é baixo para a madeira do tronco e ramos e alto para as folhas o que está de acordo, em geral, com os dados obtidos neste trabalho. O conteúdo inferior em cinzas nos resíduos orgânicos de coníferas deve-se à inferior taxa de decomposição e aos espessos horizontes orgânicos que impedem a contaminação com matéria mineral (WESEMAEL, 1993).

De um modo geral, observa-se que o conteúdo em cinzas dos resíduos de espécies habitualmente pioneiras na instalação de comunidades florestais, o que ocorre essencialmente em solos pobres, é inferior ao conteúdo em cinzas dos resíduos de espécies desenvolvidas em comunidades climácicas e solos férteis (BRAY e GORHAM, 1964 citados por PRITCHETT e FISHER, 1987).

4.1.2.2 - Carbono

No horizonte O (Fig. 10a), não existem diferenças significativas entre espécies, mostrando o *P. nigra* o maior valor e a *P. menziesii* o menor.

Como seria de esperar, a concentração de C diminui ligeiramente do subhorizonte L (Fig. 10b) para o F (Fig. 10c) e mais marcadamente para o H (Fig. 10d), o que está associado com o aumento do grau de humificação, com o aumento da quantidade de matéria mineral e com a elevada porosidade do horizonte O que permite trocas rápidas de gases com a atmosfera (FERNANDEZ *et al.*, 1993). Esta redução é mais evidente ao nível das folhas e agulhas, uma vez que a taxa de decomposição é mais elevada para estes componentes.

Em todos os subhorizontes os resíduos de *P. nigra* apresentam os maiores valores e os de *C. sativa* e *P. menziesii* os menores, comportamento este que está relacionado com as taxas de decomposição (superiores para as duas últimas espécies).

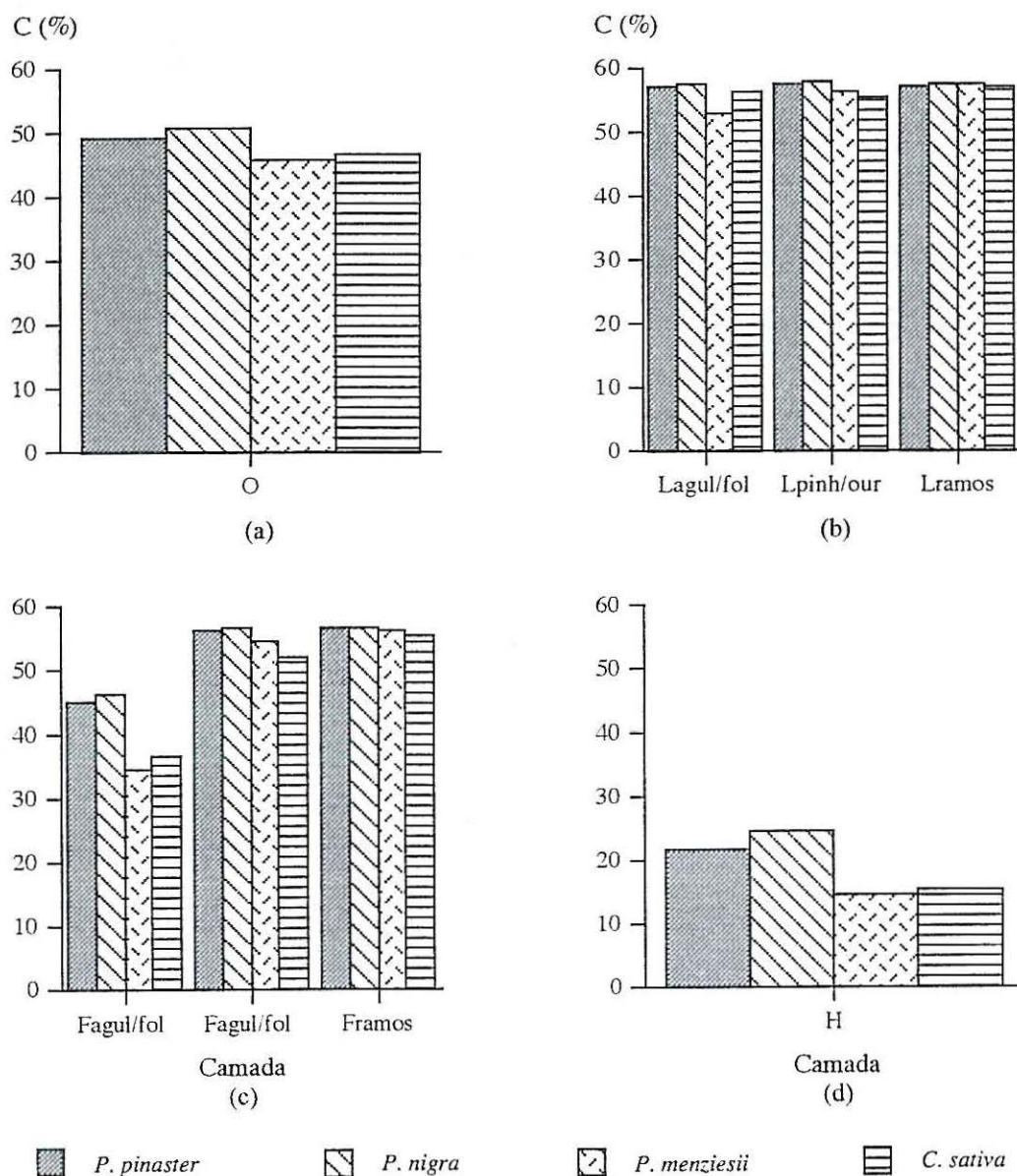


Fig. 10 - Concentração de C nos horizontes orgânicos das espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii*, e *C. sativa* para as camadas O (a); L(b); F(c); H (d)

Num estudo realizado por FERNANDEZ *et al.* (1993) conclui-se que a evolução de C no horizonte O não difere significativamente entre florestas de caducifólias e coníferas. Também SCHLENTNER e VAN CLEVE (1985) referem uma evolução semelhante do C em diferentes tipos de florestas adultas no Alasca.

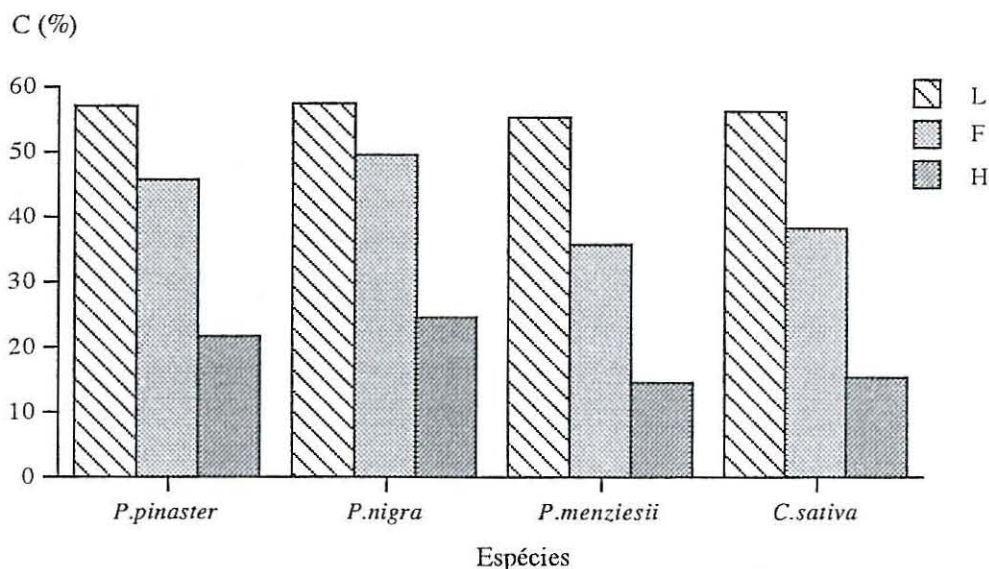


Fig. 11 - Evolução da concentração de C com o processo de humificação

Pela observação da Figura 11, os resíduos orgânicos mais intactos (camada L) armazenam elevadas quantidades de C, mas este é rapidamente posto, de novo, em circulação com o avançar do estado de decomposição desses resíduos, como referido em 2.1.3.3.

As espécies *P. nigra* e *P. pinaster* são as mais eficientes no armazenamento de C. Tendo em atenção, o crescente aumento do teor de CO₂ na atmosfera, estas espécies poderão ter uma maior importância no armazenamento de C em ecossistemas terrestres.

Igualmente VIQUEIRA *et al.* (1982) observaram que ao longo do ano, a libertação de CO₂ era superior em solos sob carvalho que sob pinheiro.

4.1.2.3 - Azoto

No horizonte O (Fig. 12a), a concentração de N é superior na *C. sativa* que difere significativamente das restantes espécies.

No subhorizonte L (Fig. 12b), o teor em N é sempre mais elevado para todos os componentes orgânicos da *C. sativa*. No entanto, é de realçar que nas agulhas da *P. menziesii* e nas folhas da *C. sativa* as concentrações são semelhantes e diferem significativamente das outras espécies.

No subhorizonte F (Fig. 12c), os resíduos apresentam geralmente teores superiores em N relativamente ao subhorizonte L. A tendência do material orgânico da *C. sativa* ser o mais concentrado mantém-se, diferindo significativamente do material orgânico das restantes espécies.

A concentração de N continua a aumentar para o subhorizonte H (Fig. 12d), apresentando igualmente a *C. sativa* o valor mais elevado

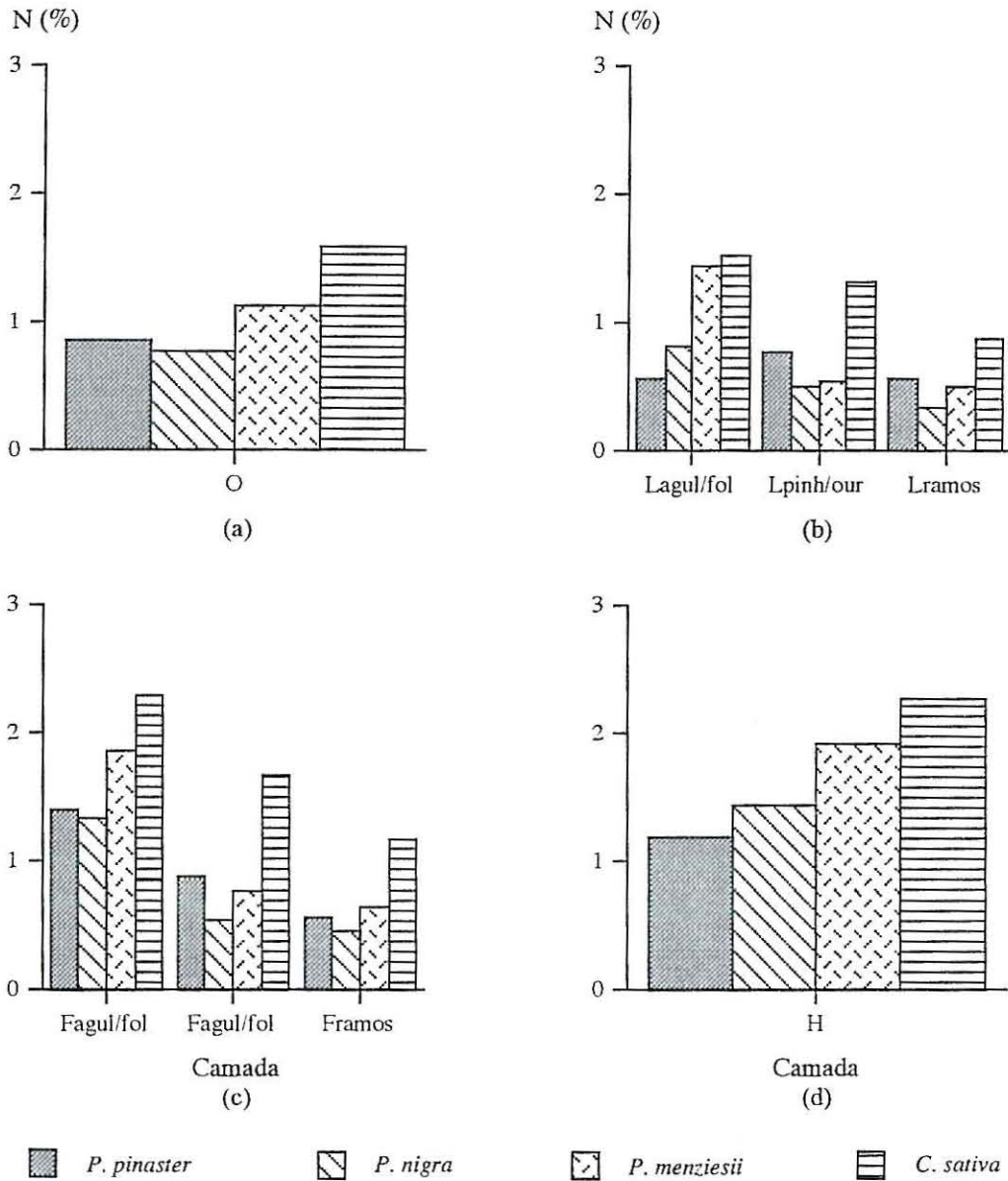


Fig. 12. - Concentração de N nos horizontes orgânicos das espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii*, e *C. sativa* para as camadas O (a); L(b); F(c); H (d)

O aumento da quantidade de N de L para H está relacionado com o processo normal de humificação. O N encontra-se no solo predominantemente na forma orgânica e o N orgânico pode ficar imobilizado por longos períodos de tempo (RAPP, 1990).

MERZOUKI *et al.* (1989), observaram o comportamento do N num local de corte de *P. taeda* e mostraram que as perdas por lixiviação poderiam ser reduzidas através da sua retomada no compartimento microbiano. Este N retido na biomassa microbiana, é colocado de novo à disposição dos organismos vivos (vegetais, microorganismos, etc.) a partir da mineralização dos cadáveres microbianos (MERZOUKI *et al.*, 1989).

Num trabalho realizado por POLGLASE *et al.* (1992) para as espécies *P. taeda* e *P. elliotti*, verificaram que a concentração de N aumenta durante a decomposição, o que está associado com o aumento do grau de humificação.

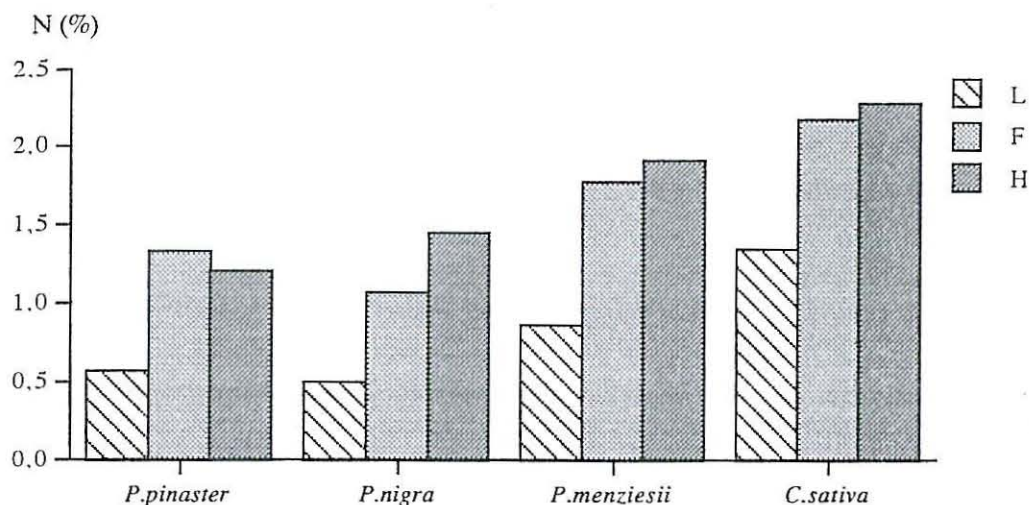


Fig. 13. - Evolução da concentração de N com o processo de humificação

Como os resíduos orgânicos diferem nas características morfológicas e ambientais, podem também diferir na mineralização do N (FYLES *et al.*, 1991), o que pode explicar serem os resíduos da espécie *C. sativa* os mais concentrados em N (Fig. 13). A quantidade de N libertada no tempo é fortemente influenciada pela sua concentração inicial nos resíduos orgânicos (PRESCOTT *et al.*, 1993).

As deficiências em N são frequentes em climas frios onde este elemento é imobilizado nas camadas orgânicas acumuladas no solo florestal (RENNIE, 1971 citado por PRITCHETT e FISHER, 1987). Assim, são muitas vezes observadas em florestas de coníferas em climas frios sob condições que favorecem a acumulação de detritos (WEETMAN, 1962 citado por PRITCHETT e FISHER, 1987). A aplicação de N no solo é frequente em povoamentos de *Picea abies* e *Pinus sylvestris* em áreas extensivas da Escandinávia, em povoamentos de *Pseudotsuga menziesii* no Pacífico Norte e em diversas espécies de pinheiros no Sul dos E.U.A, Japão e outras áreas do mundo (HAGNER, 1971 citado por PRITCHETT e FISHER, 1987).

Nos resíduos florestais a concentração de N varia, frequentemente, entre 1,5 e 2% (VOIGT, 1965). O nível de deficiência nas folhas é de 1,1% (WILL, 1971 citado por MEZANZA *et al.*, 1993), o que indica que poderá ocorrer deficiência no *P. pinaster* e no *P. nigra*.

A disponibilidade de N é muitas vezes o primeiro factor que limita a produtividade em ecossistemas florestais (MAHENDRAPPA *et al.*, 1986).

4.1.2.4 - Fósforo

No horizonte O (Fig. 14a), a concentração de P é mais elevada para a *P. menziesii* e mais baixa para o *P. nigra*, diferindo estas espécies significativamente entre si e das restantes.

Em relação ao subhorizonte L (Fig. 14b), é curioso notar que o material orgânico do *P. nigra* é muito pobre em P, que geralmente difere significativamente das outras espécies, e que as agulhas da *P. menziesii* são as mais ricas neste elemento, que diferem igualmente das restantes espécies, tendendo este a baixar para as pinhas e ramos.

Os valores de P aumentam no subhorizonte F (Fig. 14c), se bem que de forma menos notável que o N. A tendência da *P. menziesii* apresentar os maiores valores seguida da *C. sativa*, e o *P. nigra* os menores mantém-se.

No subhorizonte H (Fig. 14d), observa-se comportamento idêntico ao do subhorizonte F.

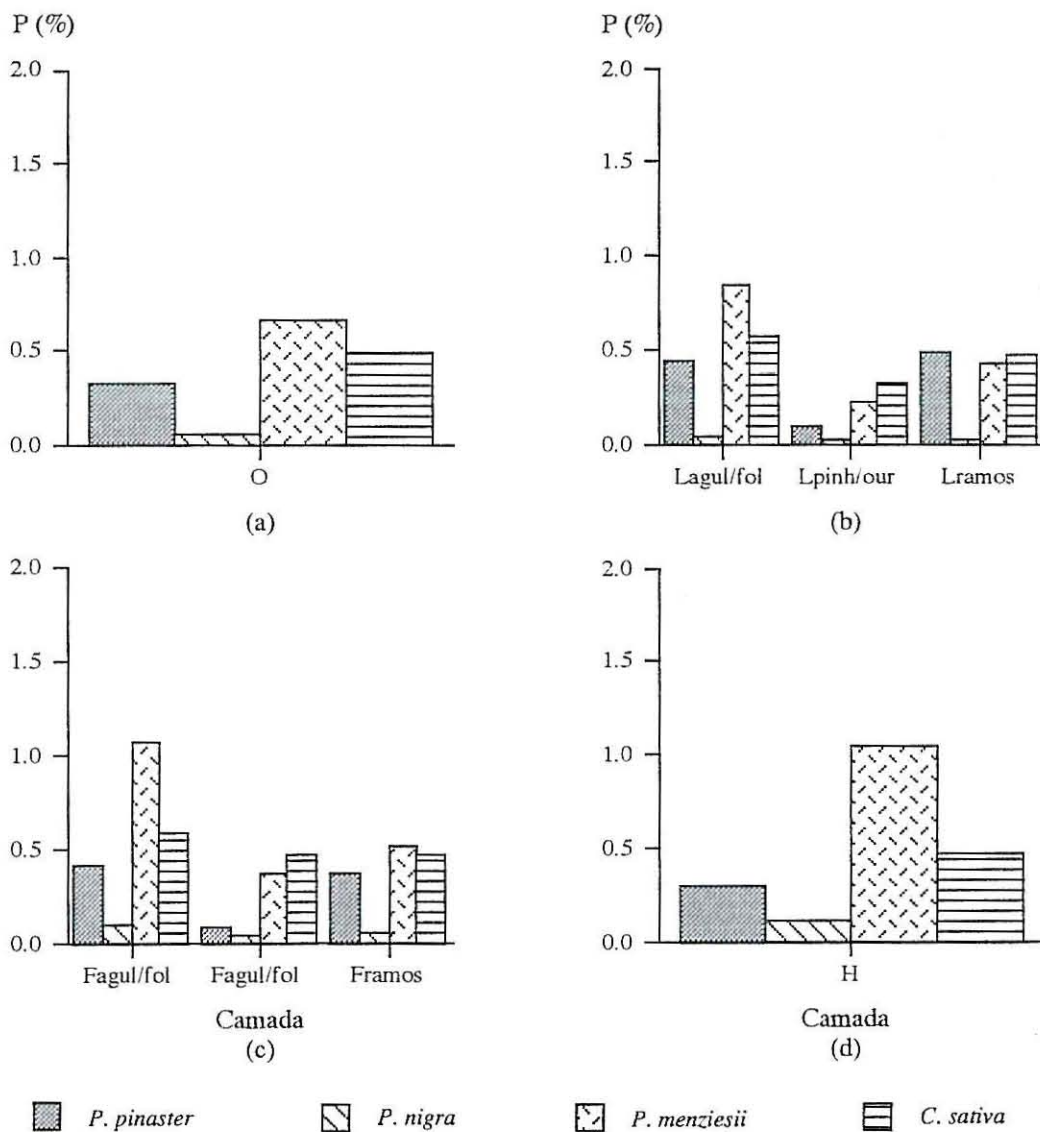


Fig. 14 - Concentração de P nos horizontes orgânicos das espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii*, e *C. sativa* para as camadas O (a); L (b); F (c); H (d).

As concentrações de P aumentam ou decrescem com o avançar da decomposição, dependendo da sua concentração inicial nos resíduos orgânicos (PRESCOTT *et al.*, 1993). No presente estudo, a concentração de P aumenta geralmente de L para F, mostrando comportamento irregular para H (Fig. 15).

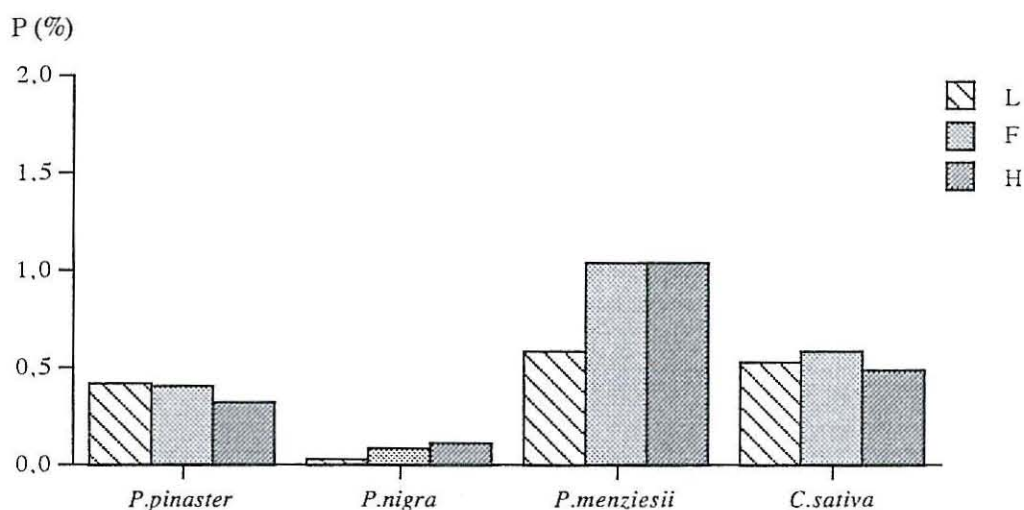


Fig. 15 - Evolução da concentração de P com o processo de humificação

Perdas rápidas de P têm sido observadas em alguns tipos de resíduos de determinados ecossistemas (LOUSIER e PARKINSON, 1978; EDMONDS, 1979; RUSTAD e CRONAN 1988; UPADHYAY e SINGH, 1989 citados por PRESCOTT *et al.*, 1993), enquanto que a imobilização por curtos ou longos períodos de tempo tem sido observada para outros tipos de resíduos e ecossistemas (STOHLGREN, 1988). De acordo com BOCKHEIM *et al.* (1991) as diferenças nas concentrações nas quatro espécies devem-se em primeiro lugar à imobilização do P.

GOSZ *et al.* (1973) citados por BOCKHEIM *et al.* (1991) sugerem que o P e N são sujeitos a imobilização pelos microorganismos durante a decomposição dos detritos. Contudo, a tendência do P ser menos imobilizado que o N dá habitualmente indicação que o P não é limitante para os organismos decompositores (BERG e STAAF, 1981 citados por PRESCOTT *et al.*, 1993).

A quantidade de P é, geralmente, menor em solos sob coníferas que sob folhosas, reflectindo a capacidade das coníferas sobreviver e competir em solos que contêm níveis relativamente baixos (PEREIRA, 1978; PRITCHETT e FISHER, 1987). A maioria das deficiências em P surgem em plantações de coníferas em solos pobres no Hemisfério Norte (PRITCHETT e FISHER, 1987) e em plantações de pinheiros exóticos no Hemisfério Sul (BALLARD, 1971 citado por PRITCHETT e FISHER, 1987). Considera-se que o nível de deficiência em P para as folhas é de 0,12% (TURNER e LAMBERT, 1986 citados por MEZANZA *et al.*, 1993), pelo que existe a possibilidade de ocorrer deficiência para o *P. nigra*.

4.1.2.5 - Potássio

O K conjuntamente com o S, são os elementos minerais que aparecem nas mais baixas concentrações no horizonte O (Fig. 16a), não havendo diferenças significativas entre espécies.

No subhorizonte L (Fig. 16b), de um modo geral, a concentração de K é baixa em todos os componentes orgânicos.

Em comparação com este subhorizonte, os valores de K são superiores no subhorizonte F (Fig. 16c) em todos os componentes orgânicos. Os resíduos das espécies *P. menziesii* e a *C. sativa* são os mais concentrados neste elemento.

Os teores em K aumentam para o subhorizonte H (Fig. 16d), mantendo a *C. sativa* a concentração mais elevada que difere significativamente das outras espécies.

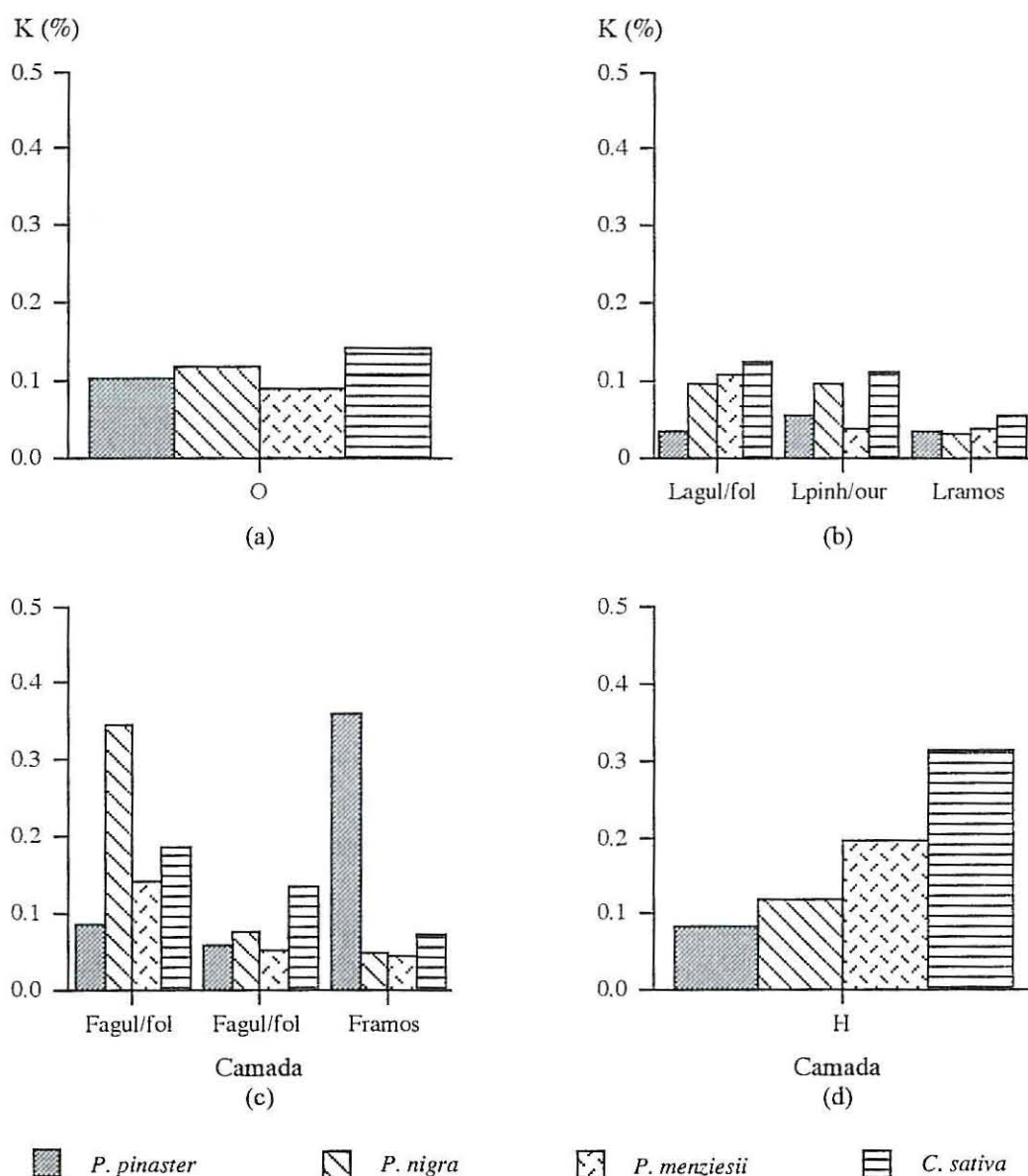


Fig. 16 - Concentração de K nos horizontes orgânicos das espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii*, e *C. sativa* para as camadas O (a); L (b); F (c); H (d)

Em oposição ao N e P, o K não é um componente ligado à estrutura das plantas e é altamente solúvel em água (GOSZ *et al.*, 1973 citados por BOCKHEIM *et al.*, 1991). Deste modo, a baixa concentração de K nos resíduos orgânicos (Fig. 17) é o resultado da lixiviação a que está sujeito (WESEMAEL, 1993). Apesar de nos horizontes minerais dos solos destes povoamentos, o K apresentar valores considerados médios a altos, devido a este elemento ser muito móvel no solo é provável ocorrerem deficiências até aproximadamente 100 mg kg⁻¹ (PORTELA, 1989). A alimentação potássica das plantas fica assim, dependente do K imediatamente disponível.

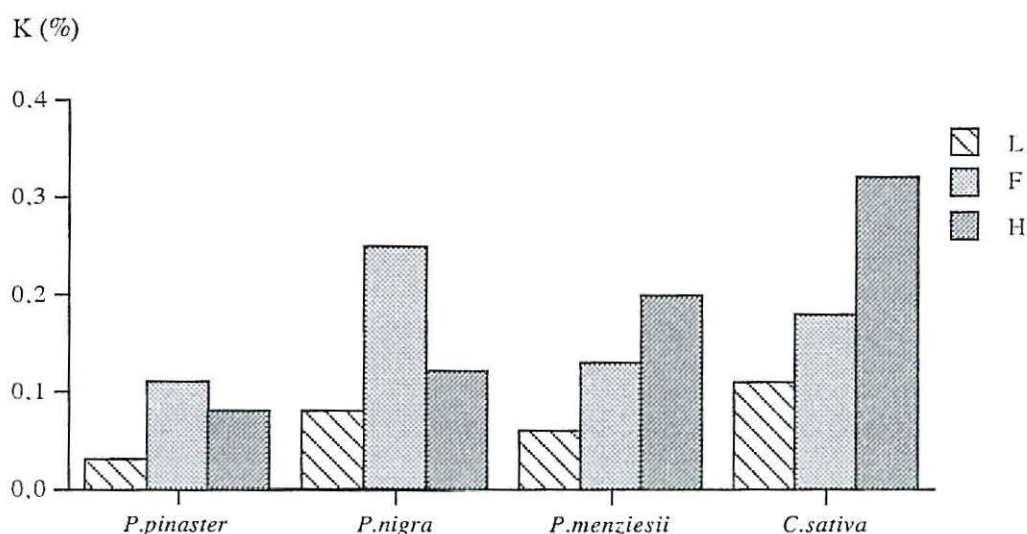


Fig. 17. - Evolução da concentração de K com o processo de humificação

Começam a aparecer deficiências de K quando a sua concentração nas folhas é inferior a 0,4% (HALL e PURNELL, 1961 citados por MEZANZA *et al.*, 1993). Em todas as espécies os valores encontrados são inferiores a este nível pelo que se corre o risco do K ser um factor limitante do crescimento destas espécies (SANTOS, 1991)

O K pode estar associado com a resistência das plantas a determinadas doenças (PROTCHETT e FISHER, 1987; SANTOS, 1991) e este elemento parece ser abundante em muitos solos florestais.

4.1.2.6 - Cálcio

No horizonte O (Fig. 18a), a concentração em Ca não mostra diferenças significativas entre espécies, sendo os resíduos das espécies *P. menziesii* e *C. sativa* os mais concentrados neste elemento.

No que diz respeito ao subhorizonte L (Fig. 18b), as folhas de *C. sativa* e as agulhas de *P. nigra* são os componentes com maior concentração, diferindo significativamente das restantes espécies. Seguem-se as concentrações nos ramos das mesmas espécies.

Deste subhorizonte para o subhorizonte F (Fig. 18c), a concentração tende a aumentar apresentando geralmente a *C. sativa* e *P. menziesii* valores idênticos, que diferem significativamente nas folhas e agulhas das restantes espécies.

No subhorizonte H (Fig. 18d), regista-se igualmente um aumento, mantendo a *C. sativa* e a *P. menziesii* os valores mais elevados, que diferem significativamente entre si e das restantes espécies. As concentrações do *P. nigra* e *P. pinaster* tendem a ser semelhantes.

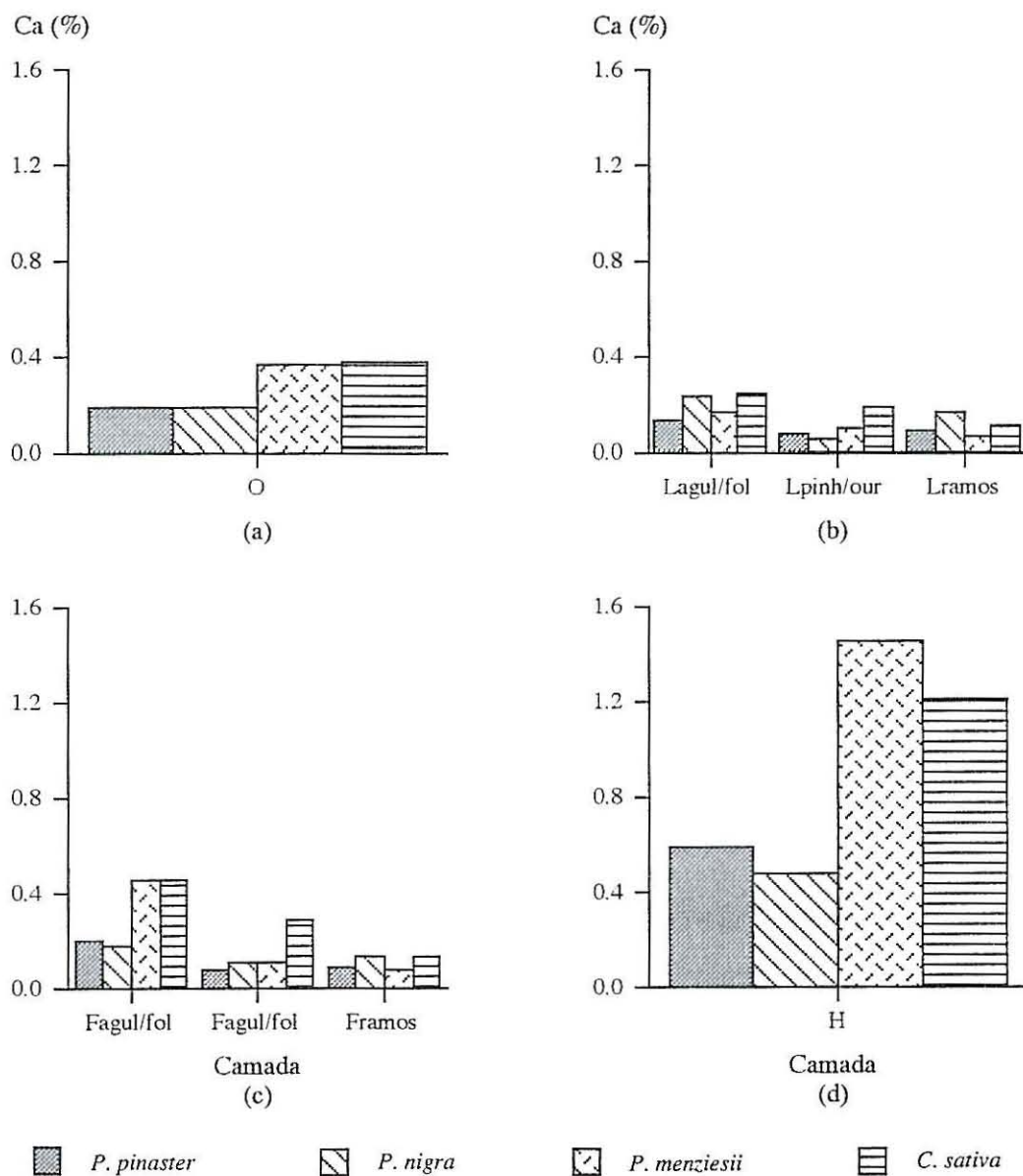


Fig. 18 - Concentração de Ca nos horizontes orgânicos das espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii*, e *C. sativa* para as camadas O (a); L (b); F (c); H (d)

As diferenças na quantidade de Ca registadas entre espécies (Fig. 19), explicam-se essencialmente pela natureza dos resíduos orgânicos produzidos (BOCKHEIM *et al.*, 1991). Apesar de ser considerado um elemento relativamente imóvel, as baixas concentrações podem dever-se à translocação do Ca. Em espécies florestais, com alguma frequência, este elemento move-se previamente dos tecidos mais velhos para os tecidos em crescimento (PRITCHETT e FISHER, 1987).

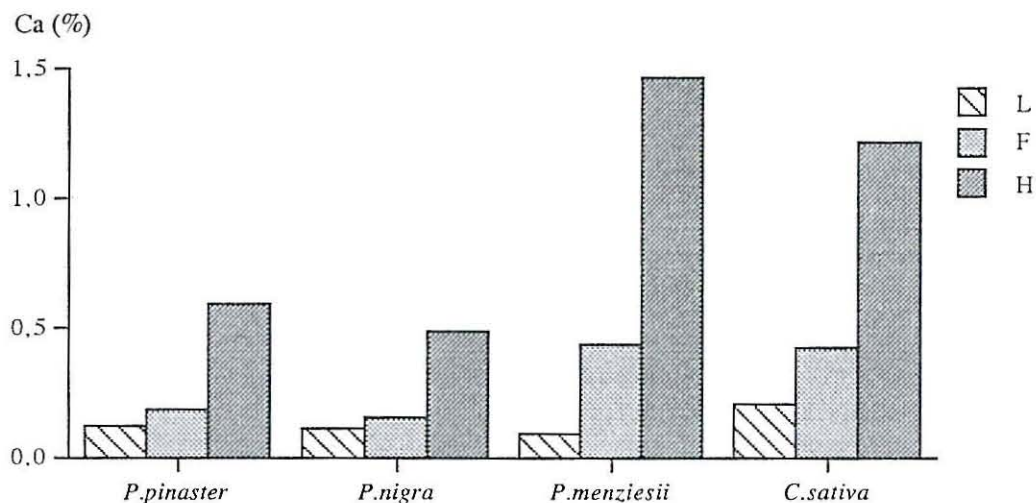


Fig. 19 - Evolução da concentração de Ca com o processo de humificação

O Ca e o Mg são muito pouco libertados do material orgânico que fica intacto. Isto explica-se pelo papel que têm nos tecidos vegetais, como referido em 2.1.5.2.4, estando estes dois elementos incluídos em constituintes bastante resistentes à decomposição (MERZOUKI *et al.*, 1989).

O Ca existe nos solos principalmente em formas inorgânicas, estando 50 a 1000 mg kg⁻¹ ou mais em forma de troca na superfície do solo (PRITCHETT e FISHER, 1987).

Não são de recear deficiências, já que o nível crítico para as folhas é de 0,1% e todas as espécies apresentam valores superiores a este nível.

4.1.2.7 - Magnésio

Embora não ocorram diferenças significativas entre espécies, no horizonte O (Fig. 20a), a concentração de Mg é superior para a *P. menziesii* e *C. sativa*, apresentando todas as espécies concentrações mais elevadas em Mg que em Ca.

No subhorizonte L (Fig. 20b), é a *P. menziesii* que apresenta os valores mais elevados seguida da *C. sativa*.

No subhorizonte F (Fig. 20c) a concentração também tende a aumentar, sendo este aumento mais notório nas camadas Fagulhas ou Ffolhas. A *P. menziesii* e a *C. sativa* continuam a apresentar os valores mais elevados.

Continua a verificar-se o aumento do teor em Mg para o subhorizonte H (Fig. 20d), mantendo a *P. menziesii* e a *C. sativa* os maiores valores que diferem significativamente das outras espécies.

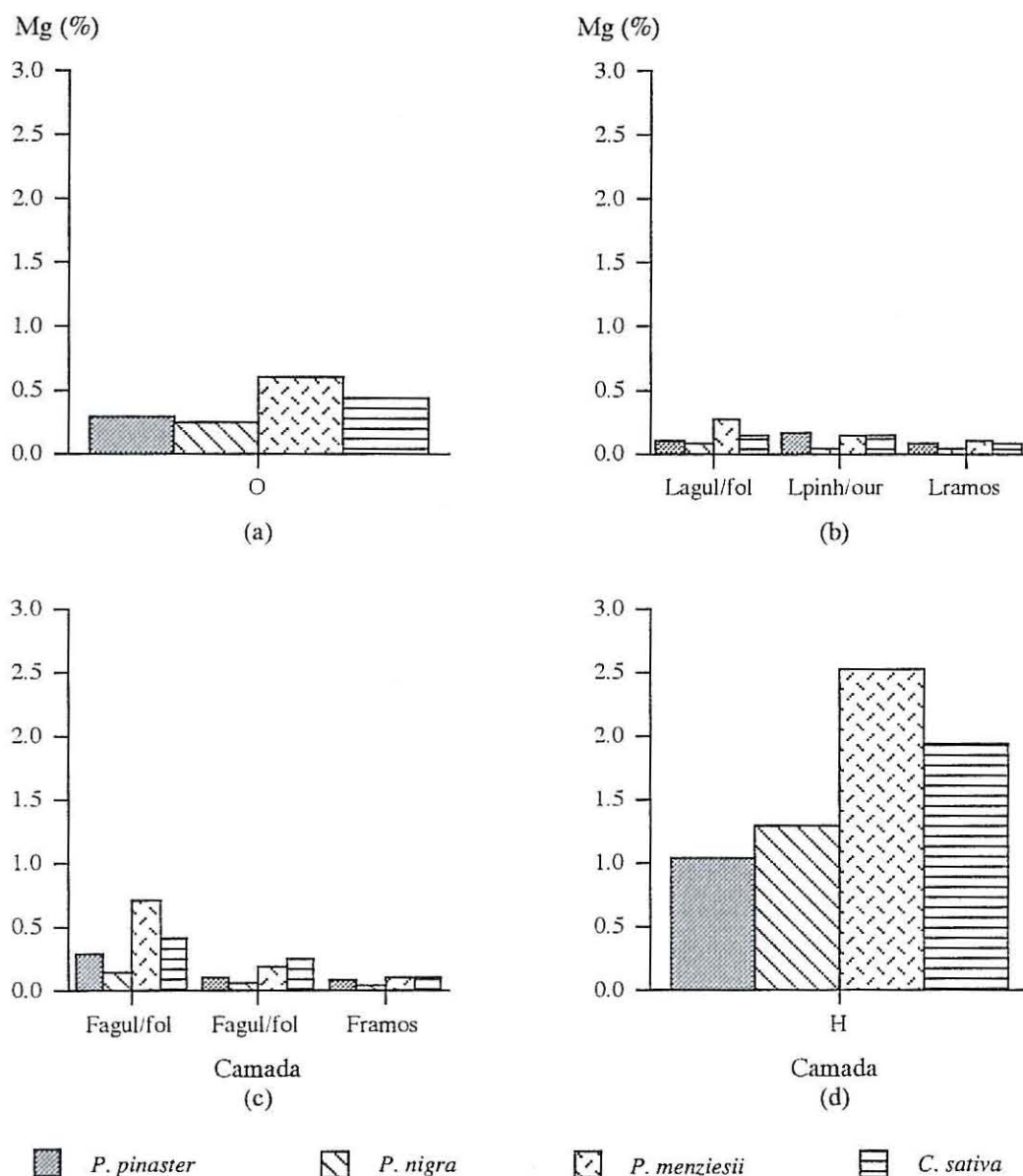


Fig. 20 - Concentração de Mg nos horizontes orgânicos das espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii*, e *C. sativa* para as camadas O (a); L (b); F (c); H (d)

A quantidade de Mg varia de acordo com as espécies e as diferenças registadas podem ser atribuídas à natureza das próprias espécies (BOCKHEIM *et al.*, 1991). Trabalhos realizados referem o aumento do teor em Mg com o avançar da decomposição dos resíduos, isto é, de L para H, (BARTOS e DEBYLE, 1981), o que é claramente observado neste trabalho (Fig. 21).

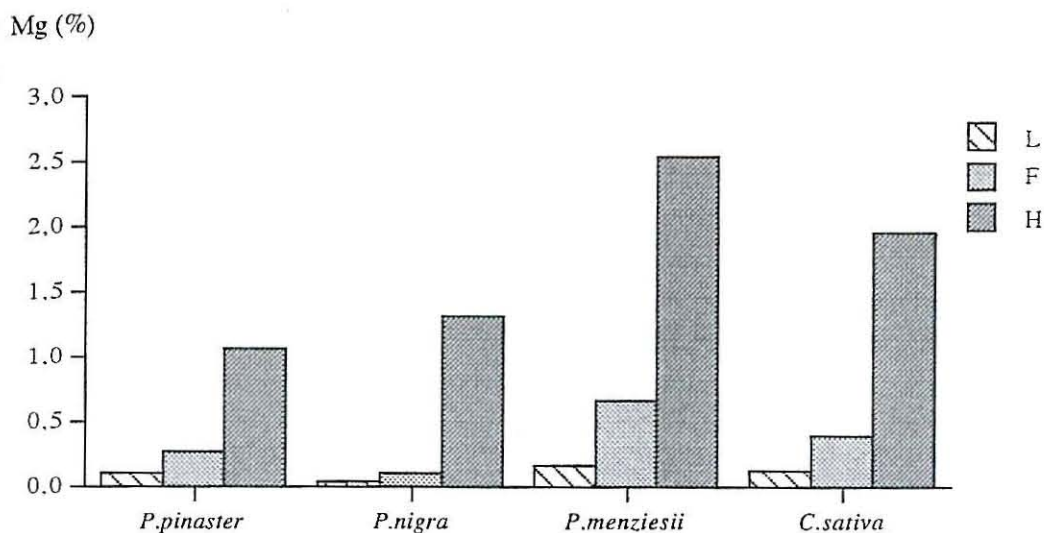


Fig. 21 - Evolução da concentração de Mg com o processo de humificação

De acordo com as funções que desempenham nas plantas, os nutrientes estão retidos na biomassa com intensidade diferente. O Mg tal como o Ca entram na constituição de tecidos bastantes resistentes à decomposição pelo que a sua libertação é mais lenta (MERZOUKI *et al.*, 1989).

PIRES e PORTELA (1994), num estudo em *C. sativa*, observaram carência de Mg no Nordeste de Portugal em Primaveras secas, incidindo com maior frequência em souts jovens. No presente trabalho, todas as espécies apresentam nas folhas valores iguais ou superiores a 0,07%, valor este, considerado como nível crítico (WILL, 1966, 1978 citados por MESANZA, 1993), pelo que não serão de recear deficiências neste elemento.

4.1.2.8 - Enxofre

A concentração de S é muito baixa no horizonte O (Fig. 22a), apresentando os valores mais elevados a *C. sativa* e a *P. menziesii*, que não diferem significativamente das outras espécies.

No subhorizonte L (Fig. 22b), a concentração em S é geralmente baixa em todos os componentes dos resíduos orgânicos e em todas as espécies, mostrando as agulhas da *P. menziesii* e as folhas da *C. sativa* os valores mais elevados que diferem significativamente dos restantes.

No subhorizonte F (Fig. 22c), a concentração de S aumenta em todos os componentes orgânicos, nomeadamente na camada Fagulhas ou Ffolhas. A tendência da *P. menziesii* e da *C. sativa* apresentarem concentrações idênticas mantém-se.

A concentração de S continua a aumentar no subhorizonte H (Fig. 22d) mostrando a *P. menziesii* e a *C. sativa* valores mais elevados que diferem significativamente das outras espécies.

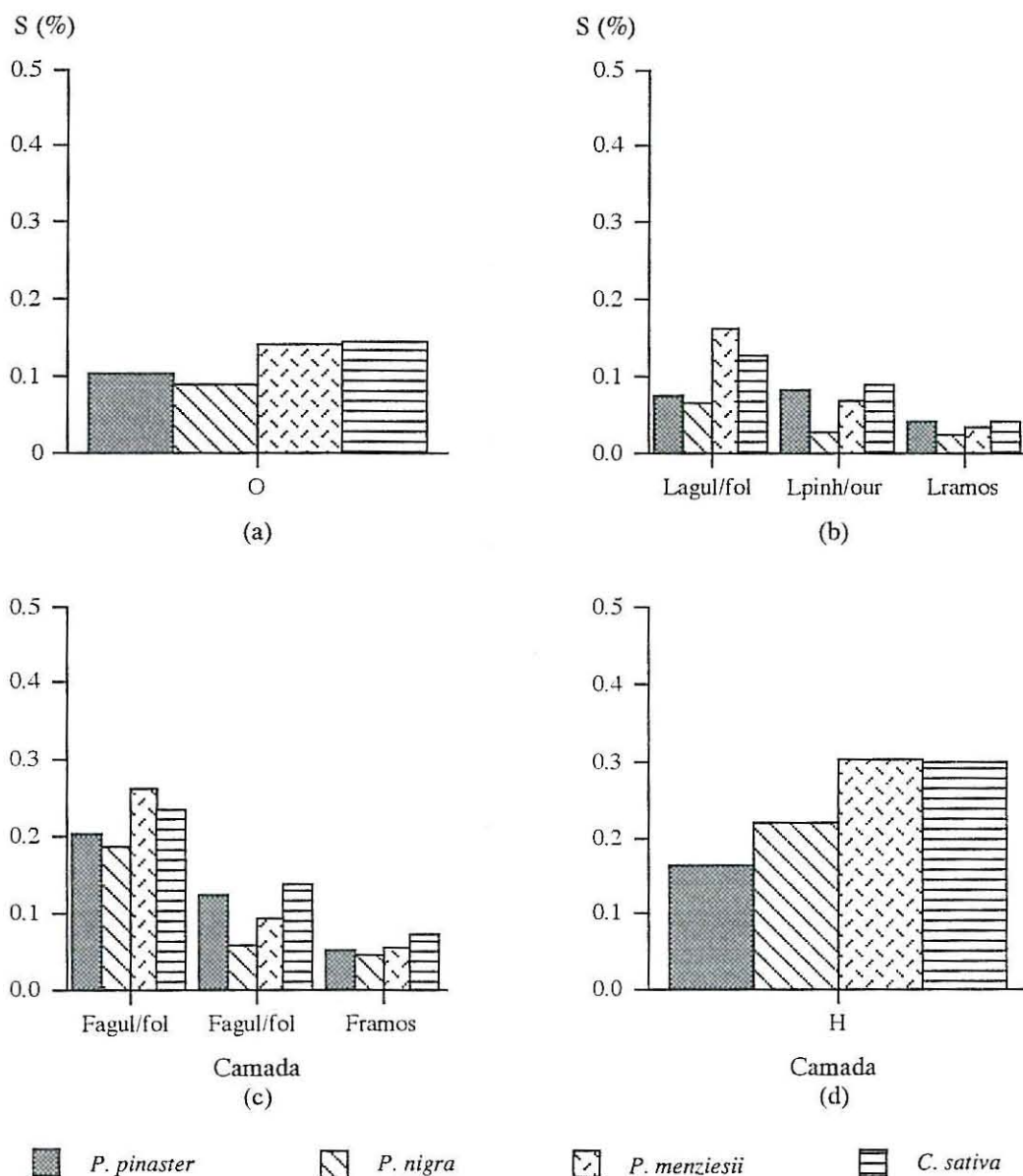


Fig. 22 - Concentração de S nos horizontes orgânicos das espécies *P. pinaster*, *P. nira*, *P. menziesii*, e *C. sativa* para as camadas O (a); L (b); F (c); H (d)

À semelhança do N e P, o S é facilmente imobilizado pelos microorganismos (BOCKHEIM *et al.*, 1991), pelo que passa por uma fase inicial de acumulação, seguida de uma fase de libertação e daí aumentar o teor à medida que caminhamos de L para H (Fig. 23).

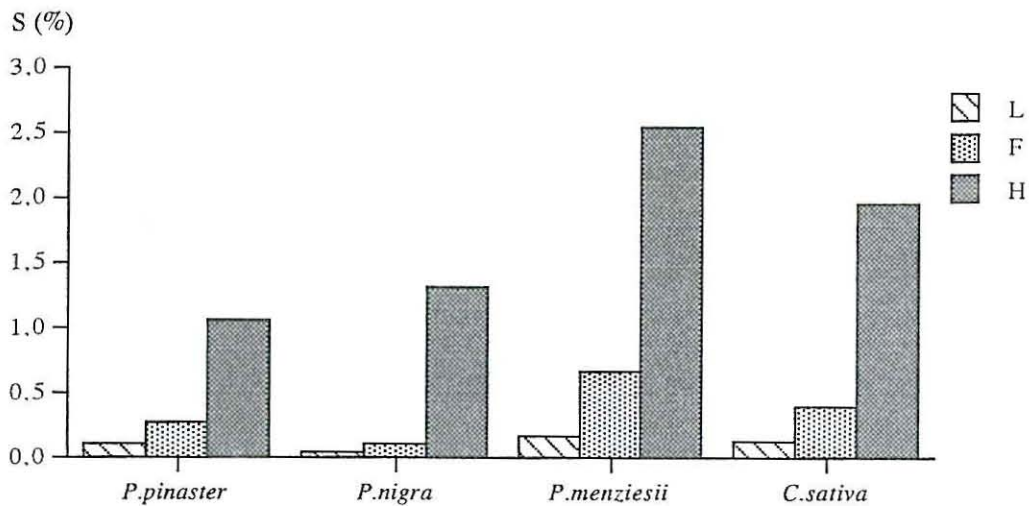


Fig. 23 - Evolução da concentração de S com o processo de humificação

Estudos realizados para a quantificação de S, mostram uma acumulação de S no decorrer dos processos de decomposição dos resíduos (GOSZ *et al.*, 1973; STAAF, 1980; BAIR, 1988 citados por BOCKHEIM *et al.*, 1991), o que é confirmado por este estudo.

Em zonas industrializadas, a atmosfera é uma fonte importante de S (PEREIRA, 1978). Por comparação com dados de outros autores em zonas não industrializadas, parece não existir incorporação de S a partir da atmosfera.

4.1.2.9 - Razão C/N

No horizonte O (Fig. 24a), como já foi referido, o teor em N é mais elevado para a *C. sativa* e conseqüentemente a razão C/N é mais baixa, diferindo significativamente das espécies *P. pinaster* e *P. nigra*.

No subhorizonte L (Fig. 24b), o teor de C é sensivelmente igual para as quatro espécies. Já o teor em N apresenta valores superiores para os componentes da *C. sativa*, o que faz com que a razão C/N seja quase sempre mais favorável para esta espécie, se bem que as agulhas da *P. menziesii* igualam o valor das folhas desta espécie. Assim, pode-se inferir que as agulhas da *P. menziesii*, para iguais condições do meio, são menos resistentes à decomposição que as agulhas de *P. pinaster* e *P. nigra*, o que é confirmado pela perda de peso anual determinada, para estas espécies, por MARTINS (1997). Para as pinhas e ramos, o comportamento é diferente, mostrando o *P. nigra* os valores de razão C/N mais elevados, que diferem significativamente das outras espécies.

O subhorizonte F (Fig. 24c), dado tratar-se duma camada constituída por material num estado de decomposição mais avançado, as razões C/N são inferiores para todos os componentes orgânicos, apresentando os valores mais baixos as agulhas e folhas seguidas dos ouriços e ramos da *C. sativa*.

O subhorizonte H (Fig. 24d) é caracterizado por um grau de humificação mais elevado e por uma considerável quantidade de matéria mineral, o que implica teores de cinzas muito elevados e conseqüentemente concentrações de C baixas, traduzindo-se em razões C/N também baixas. Conforme geralmente aceita, constata-se que quanto mais avançado for o estado de decomposição dos resíduos orgânicos mais baixas são as razões C/N, o que está de acordo com PRITCHETT e FISHER (1987) que verificaram, que os constituintes dos resíduos das plantas como as hemiceluloses e celulosas (material originário do húmus), decrescem com a profundidade dos horizontes orgânicos, enquanto que os compostos como os ácidos húmicos e fúlvicos aumentam com essa mesma profundidade.

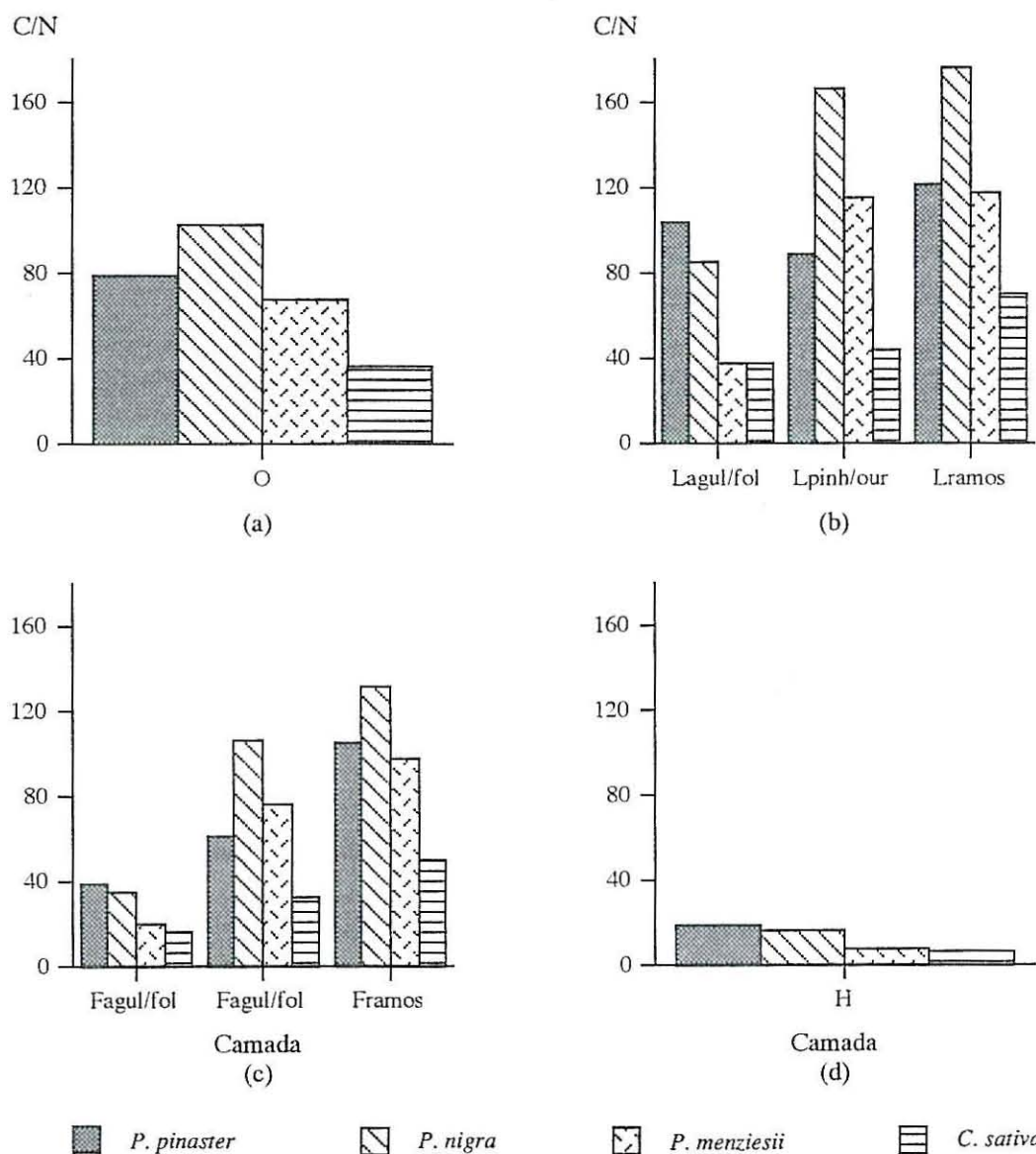


Fig. 24 - Razão C/N dos horizontes orgânicos das espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii*, e *C. sativa* para as camadas O (a); L (b); F (c); H (d)

PRITCHETT e FISHER (1987) referem que durante a mineralização de materiais carbonados, como os resíduos orgânicos de florestas, a razão C/N decresce com o tempo, ou seja, diminui de L para H (WESEMAEL, 1993). Geralmente, a razão C/N é elevada nos resíduos orgânicos e decresce com os processos de decomposição, sendo mais elevada para o húmus do tipo *mor* que para húmus do tipo *mull*. GESSEL e BALCI (1965) citados por PRITCHETT e FISHER (1987) obtiveram valores médios nas camadas L, F, H em húmus do tipo *mor* sob coníferas de 45, 36 e 38 e em húmus do tipo *mull* de 38, 31 e 29 respectivamente. As razões C/N dos materiais das camadas de húmus podem aproximar-se de 12, condição em que a taxa de mineralização é elevada.

A extensão com que sucede a mineralização depende da razão C/N ser favorável aos microorganismos presentes durante a decomposição do substrato orgânico, ficando uma parte do N imobilizado por eles (HADAS *et al.*, 1992; PAUSTIAN *et al.*, 1992 citados por BACA *et al.*, 1993).

4.1.3 - Síntese de resultados

- Os resultados mostram que os resíduos de *C. sativa* e *P. menziesii* são mais ricos em elementos minerais que os de *P. nigra* e *P. pinaster*.
- Conforme 3.2.1, os horizontes são mais espessos sob *P. pinaster* e *P. nigra* (6 e 5 cm respectivamente) e mais delgados sob *P. menziesii* e *C. sativa* (3 e 2 cm respectivamente), o que está associado com a taxa de decomposição e com a produção e dimensões dos resíduos orgânicos.
- De um geral, as concentrações de elementos aumentam ao longo do processo de mineralização/humificação, isto é, de L para H, verificando-se com alguma frequência na espécie *P. pinaster*, e mais raramente na espécie *P. nigra* um decréscimo de F para H o que poderá estar relacionado com a lixiviação de elementos.
- O componente orgânico folhas ou agulhas, de um modo geral, é o mais concentrado em elementos minerais, o que é mais nítido nas espécies *C. sativa* e *P. menziesii*. Os resíduos da camada L do *P. pinaster*, apresentam geralmente, concentrações de elementos mais baixas nas agulhas que nas pinhas e ramos, tendendo este comportamento a anular-se na camada F.
- As folhas de *C. sativa* são as mais concentradas em N, K e Ca, o que é confirmado por PRITCHETT e FISHER (1987) que referem que as folhas de espécies caducifólias contêm geralmente concentrações mais elevadas nestes elementos que as folhas de coníferas.

Ainda segundo o mesmo autor, estas concentrações de elementos nos resíduos orgânicos estão dependentes da fertilidade do solo onde as espécies se desenvolvem. Por exemplo, as folhas de carvalho ou faia que crescem em solos com baixo teor em bases, podem conter concentrações mais baixas em Ca que as agulhas de abeto ou pseudotsuga que crescem em solos férteis.

- Normalmente, os níveis encontrados para os elementos nas folhas são superiores aos níveis considerados críticos. As deficiências de nutrientes nas folhas serão mais de reear na espécie *P. nigra*, se bem que pode explicar-se pela possibilidade de translocação de nutrientes, nomeadamente Mg e P para órgãos mais jovens (MESANZA *et al.*, 1993) e pela sua dinâmica no solo. Normalmente, as limitações de nutrientes agravam-se durante o desenvolvimento das plantas, devido à retenção de N e P nos resíduos orgânicos (POLGLASE *et al.*, 1992). Contudo, considera-se como regra que os solos florestais são pobres em K, P, Ca e Mg (BONNEAU, 1983).
- No subhorizonte H, a *P. menziesii* e *C. sativa* mostram valores de pH mais elevados que diferem significativamente do valor de pH do *P. pinaster* e *P. nigra*. Estes valores estão relacionados com a velocidade de decomposição dos resíduos orgânicos, apresentando as duas últimas espécies taxas de decomposição mais lentas, e com a composição química desses mesmos resíduos.

4.2 - HORIZONTES MINERAIS

Em zonas de clima temperado, onde a influência do clima como factor de formação do solo, é menos intensa, a rocha-mãe tem um papel importante sobre as características dos solos. Contudo, as propriedades dos horizontes minerais superficiais poderão estar nitidamente influenciadas pelo tipo de vegetação presente. De seguida analisa-se os horizontes minerais (A e B) de modo a detectar-se possíveis interferências da vegetação na morfologia e nas propriedades do solo.

4.2.1 - Morfologia

De acordo com 3.2.1, o horizonte Ah1 apresenta espessura entre 7 e 13 cm, sendo o solo sob *C. sativa* o mais espesso. Normalmente com bastante saibro, cascalho e pedras, bastante poroso e com bastantes a muitas raízes finas e médias. A agregação é muito idêntica nos quatro solos (anisoforme e grumosa, fina e muito fina, moderada), sendo os solos sob *P.*

pinaster e *P. nigra* ligeiramente mais compactos. Com transição evidente para o horizonte Ah2, manifestada por diferente compactidade, cor, consistência e presença de raízes.

O horizonte Ah2 inicia-se na base do horizonte Ah1 e ocorre entre 7 e 35 cm, continuando o solo sob *C. sativa* a ser o mais espesso. De um modo geral, com muito saibro, cascalho e bastantes pedras, moderadamente a bastante poroso e com bastantes raízes finas e médias e algumas grossas. A agregação é anisoforme e grumosa, com maior evidência nos solos sob *P. menziesii* e *C. sativa*. Compactidade pequena em todos os solos e transição difusa (no solo sob *P. pinaster*) e evidente (nos restantes solos) para o horizonte subjacente.

No que diz respeito ao horizonte B, o comportamento é diferente. Nos solos sob *P. pinaster* e *P. nigra* este horizonte é menos profundo (a cerca de 25 cm), mas nos solos sob *P. menziesii* e *C. sativa* a profundidade é notoriamente mais elevada (a cerca de 40 cm), o que se justifica pela presença de um horizonte de transição AB.

O horizonte B, geralmente com muito saibro, cascalho, pedras e alguns calhaus, moderadamente a bastante poroso e com bastantes raízes finas e médias e grossas. Agregação semelhante em todos os solos (anisoforme fina, e média, moderada e grumosa muito fina e fina moderada), compactidade pequena e transição para o horizonte subjacente evidente no solo sob *P. nigra* e gradual nos restantes.

A cor é a característica dos solos analisados com diferenças mais evidentes entre espécies. Nos solos sob *P. menziesii* e *C. sativa*, a cor é muito mais escura, normalmente pardo escuro (5YR 3/4 a 7,5YR 4/4), que nos solos sob *P. pinaster* e *P. nigra*, normalmente pardo avermelhado escuro (7,5YR 3/2 a 10YR 3/3). Estas diferenças parecem mais associadas com a natureza da matéria orgânica produzida que com a concentração de carbono. De facto, no solo sob *P. nigra*, e menos marcadamente no solo sob *P. pinaster*, observa-se uma separação evidente dos horizontes orgânicos relativamente aos horizontes minerais, o que se interpreta como resultado de taxas de decomposição dos resíduos mais lentas e de maior dificuldade de ligação com a matéria mineral. ALMENDROS *et al.* (1983) refere que este comportamento é uma consequência da presença de AF e destes se ligarem menos intensamente à matéria mineral, que os AH.

4.2.2 - Propriedades dos solos

Ao nível do perfil edáfico e face à morfologia observada e às propriedades dos solos, subdividiram-se os horizontes em superficiais (Ah1) e sub-superficiais (Ah2 e B), orientando-se a discussão em separado para estes horizontes.

Na análise dos horizontes minerais, como já foi referido, procedeu-se a um teste de comparação de médias, utilizando-se para o efeito os valores obtidos em todos os perfis

observados. Assim, no decorrer da análise dos vários parâmetros, serão considerados os valores médios encontrados nos perfis do solo desenvolvidos sob as quatro espécies florestais.

Elegeram-se as seguintes propriedades para comparação dos solos, atendendo ao seu papel mais ou menos acentuado na definição do comportamento físico-químico do solo e nas relações solo-planta

- Elementos grosseiros - El gr (% peso)
- Areia grossa - ag (% peso)
- Areia fina - af (% peso)
- Limo (% peso)
- Argila (% peso)
- Densidade aparente - dap (g cm^{-3})
- Porosidade - P (%)
- Agregação (% material agregado)
- Reacção do solo - pH (H_2O)
- Matéria orgânica - MO (% peso)
- Carbono - C (% peso)
- Azoto total - N (% peso)
- Fósforo assimilável - P_2O_5 (mg kg^{-1})
- Potássio assimilável - K_2O (mg kg^{-1})
- Razão C/N - C/N
- Cálcio de troca - Ca ($\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$)
- Magnésio de troca - Mg ($\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$)
- Potássio de troca - K ($\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$)
- Sódio de troca - Na ($\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$)
- Alumínio de troca - Al ($\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$)
- Acidez de troca - AT ($\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$)
- Capacidade de troca catiónica potencial - CTCp ($\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$)
- Capacidade de troca catiónica efectiva - CTCe ($\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$)
- Grau de saturação em bases - GSB (%)
- Grau de saturação em acidez - GSA (%)

Os resultados da densidade aparente, porosidade e agregação serão apresentados aquando da sua discussão, os restantes apresentam-se de seguida nos Quadros 9, 10 e 11.

Quadro 9 - Valores médios de propriedades do solo no horizonte Ah1 (7 a 13 cm) sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

Espécie	Análise Granulométrica (%)					Análise Sumária						
	El gr	ag	af	Limo	Argila	pH (H ₂ O)	MO (%)	C (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	K ₂ O (mg kg ⁻¹)	C/N
<i>P. Pinaster</i>	42.8a	40.3b	27.3a	16.5a	15.9a	4.9a	3.6a	2.1a	0.15a	21a	70a	15a
<i>P. nigra</i>	32.1a	25.2a	34.2a	20.7a	19.9a	4.7a	7.0b	4.1b	0.29ab	9a	109a	14a
<i>P. menziesii</i>	35.4a	32.6b	28.6a	17.2a	21.6a	5.3a	5.7ab	3.3ab	0.29ab	0a	159a	12a
<i>C. sativa</i>	34.1a	33.0b	31.8a	14.1a	21.1a	5.0a	6.6ab	3.8ab	0.34b	8a	79a	11a

Espécie	Análise do complexo de troca										
	Bases de troca (cmol(+) Kg ⁻¹)					Acidez de troca (cmol(+) Kg ⁻¹)		CTCe (cmol(+) Kg ⁻¹)	CTCp (cmol(+) Kg ⁻¹)	GSA (%)	GSB (%)
	Ca	Mg	K	Na	SBT	Al	AT				
<i>P. Pinaster</i>	0.13a	0.17a	0.26a	0.08a	0.64a	1.22ac	2.10a	2.7a	5.2a	76.9b	15.8a
<i>P. nigra</i>	0.21a	0.14a	0.29a	0.04a	0.70a	3.22b	6.07b	6.8b	13.7b	89.7b	6.3a
<i>P. menziesii</i>	3.30b	1.08b	0.66a	0.11a	5.14b	0.94a	1.67a	6.8b	15.5b	30.8a	32.9a
<i>C. sativa</i>	0.36ab	0.58ab	0.29a	0.06a	1.27ab	2.35bc	3.57a	4.8b	15.3b	73.7b	8.5a

Os valores médios apresentados nas colunas seguidos da mesma letra não diferem significativamente (P < 0,05)

Quadro 10 - Valores médios de propriedades do solo no horizonte Ah2 (7 a 35 cm) sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

Espécie	Análise Granulométrica (%)					Análise Sumária						
	El gr	ag	af	Limo	Argila	pH (H ₂ O)	MO (%)	C (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	K ₂ O (mg kg ⁻¹)	C/N
<i>P. Pinaster</i>	40.5ab	46.1a	23.4a	15.3a	15.3a	4.9a	2.5a	1.4a	0.11a	7a	55a	14a
<i>P. nigra</i>	33.2a	25.3a	42.9a	15.0a	16.8a	4.7a	5.9b	3.2ab	0.20ab	4a	72a	16a
<i>P. menziesii</i>	40.8ab	33.9a	28.1a	18.8a	19.2a	4.8a	5.0ab	2.9ab	0.27b	2a	98a	11a
<i>C. sativa</i>	44.1b	32.1a	36.8a	14.8a	16.3a	4.9a	6.1b	3.5b	0.30b	4a	65a	12a

Espécie	Análise do complexo de troca										
	Bases de troca (cmol(+) Kg ⁻¹)					Acidez de troca (cmol(+) Kg ⁻¹)		CTCe (cmol(+) Kg ⁻¹)	CTCp (cmol(+) Kg ⁻¹)	GSA (%)	GSB (%)
	Ca	Mg	K	Na	SBT	Al	AT				
<i>P. Pinaster</i>	0.15a	0.12a	0.15a	0.07a	0.48a	1.08a	1.82a	2.3a	6.9a	78.0a	7.0a
<i>P. nigra</i>	0.12a	0.09a	0.20a	0.06a	0.47a	2.79b	5.35b	5.8b	13.1b	91.9b	3.6a
<i>P. menziesii</i>	0.18a	0.26a	0.24a	0.09a	0.77a	1.88c	3.05a	3.8c	12.5b	79.6ab	6.3a
<i>C. sativa</i>	0.14a	0.13a	0.16a	0.07a	0.50a	2.01c	2.88a	3.4ac	11.3b	85.2ab	4.5a

Os valores médios apresentados nas colunas seguidos da mesma letra não diferem significativamente (P < 0,05)

Quadro 11 - Valores médios de propriedades do solo no horizonte B (25 a 65 cm) sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

Espécie	Análise Granulométrica (%)					Análise Sumária						
	El gr	ag	af	Limo	Argila	pH (H ₂ O)	MO (%)	C (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	K ₂ O (mg kg ⁻¹)	C/N
<i>P. Pinaster</i>	43.1a	40.2a	33.4a	14.0a	11.7ab	5.0a	1.3ab	0.8ab	0.06a	7a	39ab	13b
<i>P. nigra</i>	40.7a	31.0a	33.1a	16.0a	19.9b	4.9a	2.9b	1.7b	0.126a	3a	63ac	14b
<i>P. menziesii</i>	48.2a	45.6a	30.0a	10.9a	13.6ab	5.0a	1.6ab	0.9ab	0.11a	8a	69bc	9bc
<i>C. sativa</i>	47.9a	37.6a	38.3a	13.3a	10.8a	5.0a	1.2b	0.7b	0.09a	37a	37a	8ac

Espécie	Análise do complexo de troca										
	Bases de troca (cmol(-) Kg ⁻¹)					Acidez de troca (cmol(+) Kg ⁻¹)		CTCe (cmol(-) Kg ⁻¹)	CTCp (cmol(-) Kg ⁻¹)	GSA (%)	GSB (%)
	Ca	Mg	K	Na	SBT	Al	AT				
<i>P. Pinaster</i>	0.12a	0.08a	0.11a	0.06a	0.37a	0.95a	1.51a	1.9a	5.0a	78.3a	8.8a
<i>P. nigra</i>	0.12a	0.07a	0.14a	0.04a	0.37a	2.17a	3.84b	4.2b	8.6a	91.0b	4.4a
<i>P. menziesii</i>	0.08a	0.12a	0.12a	0.11a	0.49a	1.41a	2.19ab	2.7a	8.0a	81.9ab	6.0a
<i>C. sativa</i>	0.07a	0.09a	0.07a	0.06a	0.28a	1.28a	1.72ab	2.0a	6.6a	85.5ab	4.2a

Os valores médios apresentados nas colunas seguidos da mesma letra não diferem significativamente ($P < 0,05$)

Da observação dos Quadros 9, 10 e 11, pode inferir-se que os resultados dos parâmetros avaliados são bastante superiores no horizonte Ah1, e frequentemente diferem significativamente entre espécies, tendendo estas diferenças a diluírem-se com a profundidade, o que é mais marcante no horizonte B. Os resultados obtidos corroboram com vários autores (ANTA *et al.*, 1979a; RODRIGUEZ e VELASCO, 1987; DE PEDRO, 1989), que referem que para a totalidade do perfil edáfico, as propriedades entre solos tendem a homogeneizar-se.

Os valores individuais, relativos às propriedades do solo de cada perfil, constam dos Quadros A.13 e A.14.

4.2.3 - Horizonte Ah1

Cabe agora fazer a análise e discussão das propriedades químicas e físicas avaliadas para este horizonte.

4.2.3.1 - Propriedades químicas

4.2.3.1.1 - Carbono total, Azoto total e Razão C/N

O solo sob *P. nigra* regista o teor mais elevado em C e o do *P. pinaster* o mais baixo, diferindo estas espécies significativamente entre si, ocorrendo variação idêntica na MO, como seria de esperar (Fig. 25 a).

O maior teor de C no solo sob *P. nigra* estará relacionado com a acumulação à superfície de biomassa morta que é notavelmente mais elevada para esta espécie seguida da *P. menziesii* e do *P. pinaster* e por último a *C. sativa*. Apesar da inferior quantidade de biomassa morta à superfície do solo sob *C. sativa*, o solo aí desenvolvido apresenta maior percentagem de C, o que parece dever-se a uma mais rápida incorporação no solo, comprovado por uma taxa de decomposição mais rápida (MARTINS, 1997) e uma relação C/N mais baixa. O menor valor de C no solo sob *P. pinaster* dever-se-à, fundamentalmente, à menor quantidade de resíduos orgânicos acumulados à superfície em resultado da retirada dos mesmos para combustível doméstico.

VOGT *et al.* (1986) citados por FERNANDEZ *et al.* (1993) observaram que a quantidade e qualidade da matéria orgânica influencia a actividade microbiana resultando em diferenças na evolução do C do solo.

Em relação ao N, verifica-se que apenas existem diferenças significativas nas concentrações entre os solos sob *P. pinaster* e *C. sativa* que apresentam o menor e o maior valor respectivamente. Os solos sob *P. nigra* e *P. menziesii* registam valores idênticos e próximos dos encontrados na *C. sativa* (Fig. 25 b).

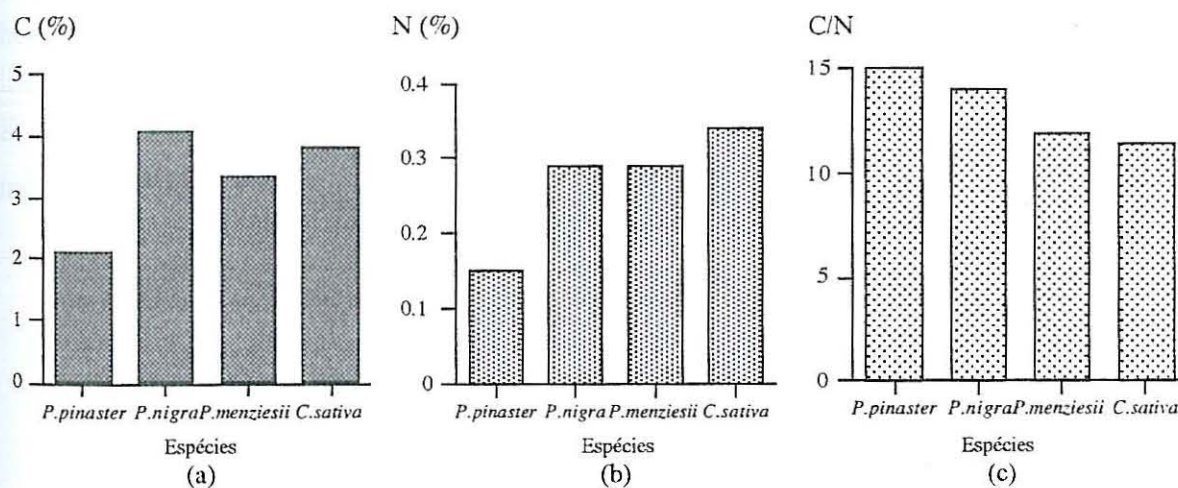


Fig. 25 - Teor em C (a), N (b) e razão C/N (c) no horizonte Ah1 sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

A razão C/N não regista diferenças significativas entre espécies (Fig. 25 c). Tendo em consideração os valores obtidos nos horizontes orgânicos, no horizonte Ah1 continua-se a verificar os menores valores para os solos sob *C. sativa* e *P. menziesii*.

Os valores da razão C/N situam-se entre 11 e 15, valores estes considerados baixos, sinal de uma rápida humificação (DUCHAUFOR, 1977).

4.2.3.1.2 - Fósforo e Potássio assimiláveis

A concentração de P_2O_5 em todos os solos é muito baixa ($0-25 \text{ mg kg}^{-1}$) (SANTOS, 1991) mostrando o solo sob *P. pinaster* o valor mais elevado e o solo sob *P. menziesii* mostra uma concentração nula em P_2O_5 assimilável (Fig. 26). Estes valores podem estar relacionados com fenómenos de retenção e fixação. Porém estas concentrações não significam necessariamente a existência de carências de P atendendo à presença de fungos micorrízicos que favorecem a nutrição vegetal, nomeadamente a absorção de fósforo, mesmo que este esteja em baixa concentração no solo (BINKLEY, 1986; HONRUBIA, 1992).

O método utilizado na extracção de P_2O_5 é indicado para este tipo de solos está classificado entre os métodos que extrai maior quantidade de fósforo em solos ácidos e ricos em MO (ARROBAS, 1986; TRAVASSOS, 1994; SOUSA, 1995).

Quanto ao potássio assimilável expresso em K_2O , os solos sob *P. pinaster* e *C. sativa* apresentam valores médios ($51-100 \text{ mg kg}^{-1}$) (SANTOS, 1991), enquanto que os solos sob *P. nigra* e *P. menziesii* registam valores considerados altos ($101-200 \text{ mg kg}^{-1}$) (SANTOS, 1991). O solo sob *P. menziesii* contém o valor mais elevado e o solo sob *P. pinaster* o mais baixo (Fig. 26). Estes valores médios e altos explicam-se pela reciclagem biológica de bases para o horizonte superficial (MARTINS, 1992 apoiado noutros autores) e pela natureza da própria litologia, com elevado teor em micas e feldspato potássico. Devido à elevada mobilidade do K no solo, as deficiências neste elemento podem manifestarem-se até valores de cerca de 100 mg kg^{-1} (PORTELA, 1989).

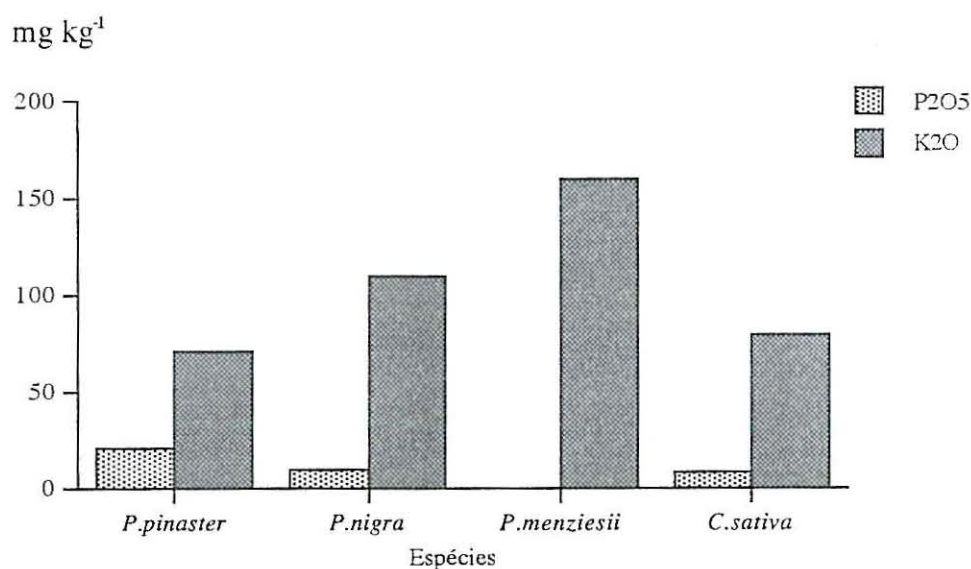


Fig. 26 - Concentração de P_2O_5 e K_2O assimiláveis no horizonte Ah1 sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

4.2.3.1.3 - Complexo de troca

4.2.3.1.3.1 - Soma de bases de troca, Acidez de troca e Reacção do solo

Da análise do complexo de troca, verifica-se a ocorrência de valores muito baixos (inferiores a 3 cmol (+) Kg⁻¹) de SBT para os solos sob coberto de *P. nigra*, *P. pinaster* e *C. sativa* e o valor mais elevado, mas ainda assim, baixo para o solo sob *P. menziesii* (METSON, 1956) (Fig. 27). Estes valores, muito baixos, estão relacionados com a composição química dos resíduos orgânicos produzidos por cada espécie (WESEMAEL, 1993) e com fenómenos de lixiviação.

Em contrapartida a AT, regista os valores mais baixos no solo sob *P. menziesii* e os mais altos no solo sob *P. nigra*, diferindo significativamente estas espécies entre si, numa tendência geralmente inversa à observada para as bases de troca (Fig. 27). A composição química dos resíduos orgânicos produzidos contribui para as diferenças observadas. Estas relacionam-se com o teor em bases na folhada e taxa de decomposição da mesma e posterior incorporação de bases no solo. A incorporação de bases de troca é superior no solo sob *P. menziesii*.

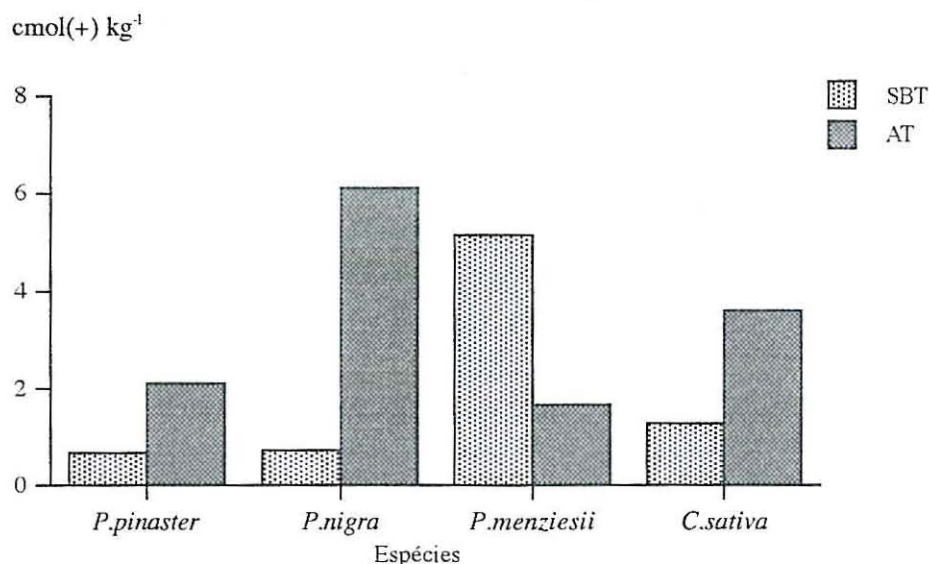


Fig. 27 - Soma das bases de troca (SBT) e Acidez de troca (AT) no horizonte Ah1 sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

No que diz respeito aos valores de pH (H₂O) do solo (Fig. 28), embora estatisticamente sem diferenças significativas, sob o ponto de vista químico e biológico, um pH de 4,7 (*P. nigra*) corresponde a uma actividade do alumínio do solo de cerca de 600 vezes mais elevada que um pH de 5,3 (*P. menziesii*) (LINDSAY, 1979).

Admite-se que de forma geral, a acidificação de um solo está fundamentalmente controlada pelos produtos libertados e formados ao longo do processo de decomposição e pela hidrólise do alumínio (VIQUEIRA *et al.*, 1982).

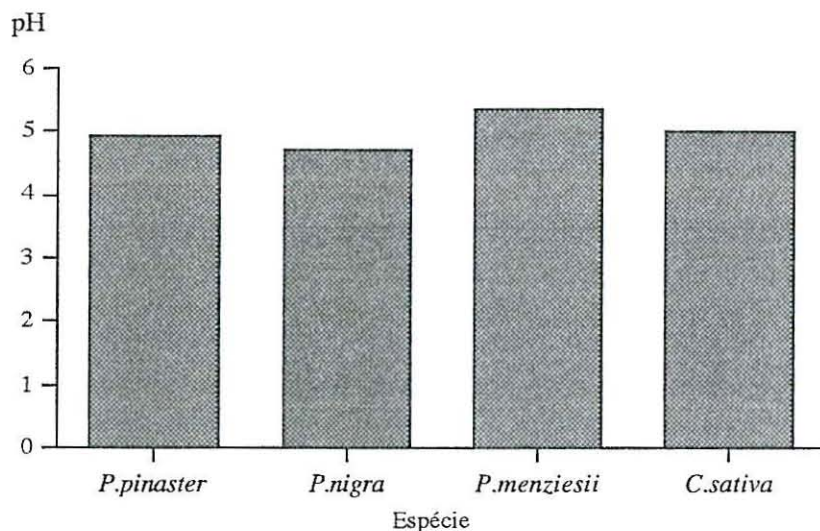


Fig. 28 - Valores de pH (H₂O) no horizonte Ah1 sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

4.2.3.1.3.2 - Saturação em bases e Saturação em acidez

O GSB está associado com a SBT e com a CTC_p, por sua vez dependentes do afluxo de bases ao sistema e da sua remoção por lixiviação. A MO tem nestas situações uma elevada importância, quer como fornecedora de bases ao meio quer como um sistema coloidal de adsorção e retenção das mesmas no meio. Os solos sob *P. menziesii* e *C. sativa* registam valores baixos de GSB, e os restantes estão em níveis considerados muito baixos (METSON, 1956).

O solo sob *P. menziesii* apresenta o maior valor de GSB e o menor de GSA, enquanto que o solo sob *P. nigra* mostra o maior valor de GSA e o menor de GSB. Tal como já foi verificado para a SBT e AT, o GSB e GSA seguem geralmente evoluções inversas (Fig. 29).

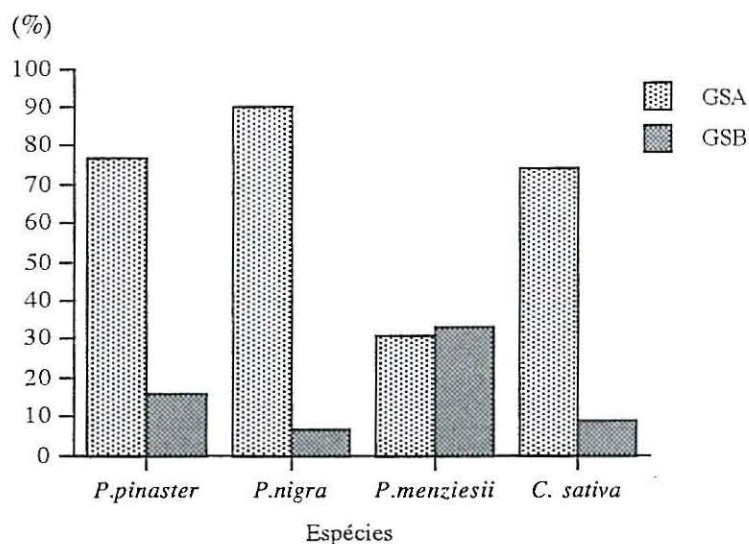


Fig. 29 - Saturação em bases (GSB) e Saturação em acidez (GSA) no horizonte Ah1 sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

4.2.3.1.3.3 - Capacidade de troca catiónica potencial e Capacidade de troca catiónica efectiva

O solo sob *P. pinaster* regista os valores mais baixos de CTCp e CTCe que diferem significativamente das restantes espécies, atingindo os valores mais elevados e idênticos da CTCp nos solos sob *P. menziesii* e *C. sativa* (Fig. 30).

O valor da CTCp determinado no solo *P. pinaster* é considerado muito baixo enquanto que os restantes são considerados médios (METSON, 1956)

Observa-se que os valores de CTCp e CTCe são mais próximos no solo sob *P. pinaster*. Isto parece reflectir uma menor dependência de cargas variáveis resultantes da MO, face aos menores valores de MO e também um menor grau de humificação da mesma. Verifica-se situação semelhante, embora menos marcada para o *P. nigra* (Fig. 30).

O valor muito baixo no solo sob *P. pinaster* pode estar relacionado com o menor teor em MO e menor percentagem de argila.

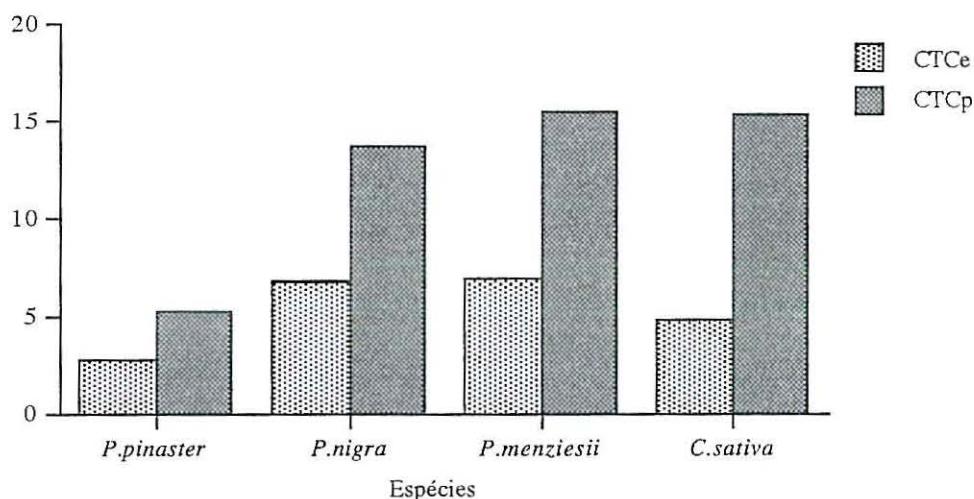


Fig. 30 - Capacidade de troca catiónica potencial (CTCp) e Capacidade de troca catiónica efectiva (CTCe) no horizonte Ah1 sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*

4.2.3.2 - Propriedades físicas

4.2.3.2.1 - Elementos grosseiros e lotes de terra fina

Relativamente à análise granulométrica, observa-se quase sempre a inexistência de diferenças significativas entre espécies. O solo sob *P. pinaster* apresenta os maiores valores de El gr e ag e os menores de argila. O limo aparece em menor quantidade no solo sob *C. sativa* seguido do solo sob *P. pinaster*. Os solos sob *P. menziesii* e *C. sativa* apresentam os valores mais elevados de argila ocupando posições intermédias para os restantes parâmetros (Fig. 31).

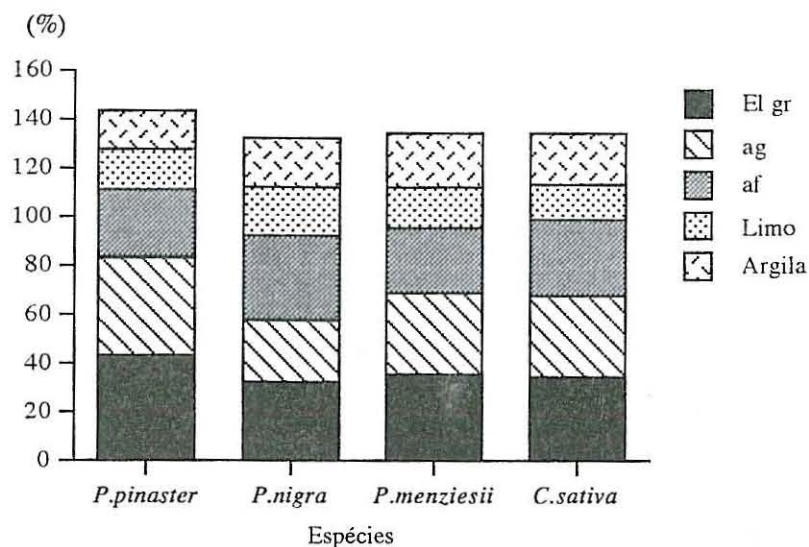


Fig. 31 - Elementos grosseiros e lotes de terra fina no horizonte Ah1 nos solos sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

O maior teor em El gr e ag no solo sob *P. pinaster* pode dever-se a ligeiras diferenças na litologia.

4.2.3.2.2 - Densidade Aparente e Porosidade

A densidade aparente é difícil de medir quando é baixa e quando nos horizontes minerais de solos florestais abundam as raízes e os elementos grosseiros (FEDERER *et al.*, 1992). Por este facto, situação que também nos surgiu no campo e que tornou praticamente impossível retirar amostras não perturbadas de camadas mais profundas, a densidade aparente foi avaliada, apenas, para o horizonte Ah1.

Dado tratar-se de solos com um teor em elementos grosseiros relativamente elevado, para possibilitar a interpretação do seu comportamento foram determinados dois valores de densidade. A densidade aparente total do solo (d_{apt}) e a densidade aparente das partículas da fracção de terra fina (d_{apf})

4.2.3.2.3 - Determinação da d_{apt} e d_{apf}

De acordo com TORRI *et al.* (1994) para verificar a relação entre a d_{apf} e o conteúdo de elementos grosseiros é necessário considerar os aspectos seguintes:

- (1) Os elementos grosseiros originam porosidade devido à sua presença, pelo que se determinou a porosidade total (Pt) e a porosidade total atribuída à fracção de terra fina (Pf);

(2) A porosidade originada pelos elementos grosseiros é incluída, por definição, na dapf.

A afirmação (2) corresponde à fórmula $dapf = Ms/(Vt-Vc)$ e esta foi a fórmula utilizada na avaliação da dapf.

- dapf - densidade da terra fina
- Ms - peso da terra fina
- Vt - volume total de solo
- Vc - volume de elementos grosseiros contidos em Vt
- Vt - Vc - pode também considerar os volumes Vs e Vv
- Vs - volume dos espaços vazios introduzidos pelos elementos grosseiros
- Vv - volume ocupado por Ms se não existe elementos grosseiros

Assim, a razão $Vv/(Vs+Vv)$ depende largamente do conteúdo forma e tamanho dos elementos grosseiros.

Dados obtidos por vários autores, indicam que o teor em elementos grosseiros influencia negativamente a dapf.

Os valores médios de Pt, Pf, dapt e dapf obtidos no horizonte Ah1 dos solos nas quatro situações constam do Quadro 12.

Quadro 12 - Porosidade e densidade aparente no horizonte Ah1 sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

Espécie	Pt (%)	Pf (%)	dapt ($g\ cm^{-3}$)	dapf ($g\ cm^{-3}$)
<i>P. pinaster</i>	56.9	69.6	1.12a	0.79a
<i>P. nigra</i>	60.3	70.9	1.01a	0.74a
<i>P. menziesii</i>	60.6	70.8	1.01a	0.75a
<i>C. sativa</i>	62.4	71.8	0.96a	0.72a

Os valores médios apresentados nas colunas seguidos da mesma letra não diferem significativamente ($P < 0,05$)

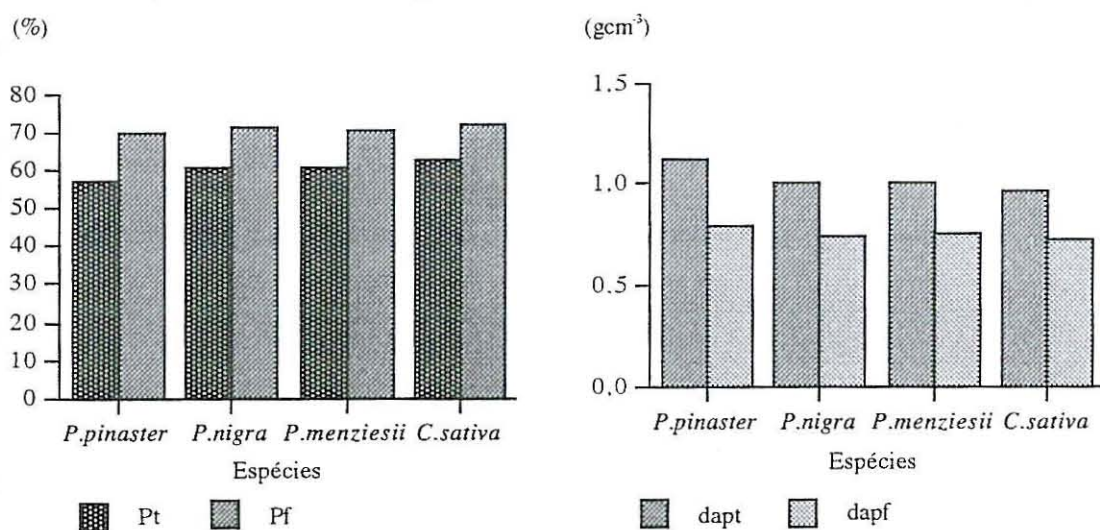


Fig. 32 - Porosidade (a) e densidade aparente (b) nos solos sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

Dado tratar-se de solos ricos em matéria orgânica e com elevado teor em elementos grosseiros (superior a 35%), apresentam valores altos de porosidade.

A presença de elementos grosseiros incrementa a porosidade. Este incremento é, em parte, contabilizado pela diferença de Pf e Pt e é maior no solo sob *P. pinaster* (teor em elementos grosseiros mais elevado) e menor no solo sob *C. sativa* (teor em elementos grosseiros mais baixo) (Fig. 32a), e finalmente incluído na fracção de terra fina, como já foi referido. Por outro lado, a fracção de terra fina tem menor densidade real que os elementos grosseiros.

Pelas razões apontadas, os valores de dapt são quase sempre superiores a 1, mas quando se considera a dapt isolada, esta diminui para valores inferiores a 0,8, sendo mais nítida esta diminuição no solo sob *P. pinaster*, o que de algum modo, está associada à porosidade originada pelos elementos grosseiros (Fig. 32b).

O solo sob *P. pinaster* apresenta os valores mais elevados (menor porosidade produzida pela MO e maior pelos elementos grosseiros) e o solo sob *C. sativa* os mais baixos (maior porosidade produzida pela MO e menor pelos elementos grosseiros).

4.2.3.2.4 - Agregação

As partículas do solo tendem a unir-se e formar agregados (BRADY; 1990). Conforme 2.1.5.1.1.2, esta agregação é essencialmente favorecida pela presença de colóides minerais e orgânicos, óxidos de ferro e alumínio, catiões, actividade das raízes e organismos do solo (BONNEAU e LÉVY, 1979; RAMPAZZO *et al.*, 1994). As exsudações radiculares e os organismos do solo, ou secreções da fauna, não só contribuem para a formação de agregados do solo como também asseguram a sua estabilidade (ROSS, 1989).

A estabilidade da agregação foi avaliada nos horizontes Ah1 e Ah2, uma vez, que os processos de agregação do solo são mais evidentes à superfície deste, onde a actividade das raízes, dos animais e acumulação de matéria orgânica são mais elevados.

Os valores médios obtidos na avaliação da estabilidade de agregação para o horizonte Ah1 encontram-se no Quadro 13. Os agregados foram separados com base nas suas dimensões, criando-se 5 classes de agregados: agregados com diâmetros superiores a 4 mm; 2-4 mm; 1-2 mm; 0,5-1 mm e 0,2-0,5 mm.

O solo da amostra referência é muito estável e difere significativamente de todas as classes de agregados dos solos sob as espécies estudadas.

Quadro 13 - Material agregado de diferentes dimensões no horizonte Ah1, expressos em % do total em solo seco.

Espécie	> 4 (mm)	2 - 4 (mm)	1 - 2 (mm)	0.5 - 14 (mm)	0.2 - 0.5 (mm)	Total
<i>P. Pinaster</i>	6.7ab	7.0b	7.0b	5.7a	4.6a	30.9b
<i>P. nigra</i>	8.1b	5.0bc	6.6bc	6.8ac	6.3b	33.8bc
<i>P. menziesii</i>	5.4a	4.4a	5.8ac	5.6a	6.2b	27.4a
<i>C. sativa</i>	7.7b	5.6c	7.0c	7.0bc	6.8b	34.2c
Amostra ref ^a	13.2c	10.2d	13.0d	11.1d	12.5c	60.0d

Os valores médios apresentados nas colunas seguidos da mesma letra não diferem significativamente ($P < 0,05$)

O solo sob *P. menziesii* apresenta os valores mais baixos de estabilidade da agregação, diferindo significativamente no total de material agregado das restantes espécies, ocorrendo também diferenças significativas para algumas classes de agregados, conforme Quadro 13. Em contrapartida, o solo sob *C. sativa* é o que apresenta a maior estabilidade estrutural que difere significativamente dos solos das espécies *P. pinaster* e *P. menziesii*. Ainda é de realçar o comportamento idêntico entre a estabilidade de agregação do solo sob as espécies *P. nigra* e *C. sativa* (Fig. 33).

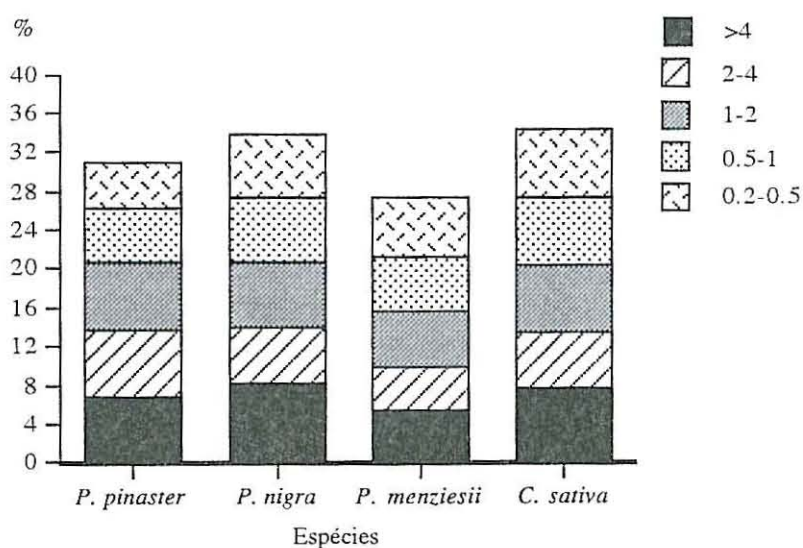


Fig. 33 - Material agregado por classe de diâmetro no horizonte Ah1 sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

No solo sob *P. menziesii*, a proporção de material agregado tende a não variar muito entre as 5 classes de agregados. O mesmo se observa no solo sob *C. sativa*. Em relação aos solos sob *P. nigra* e *P. pinaster*, constata-se que o primeiro regista proporção de agregados sensivelmente idêntica para as três classes de menores dimensões, enquanto que o segundo mostra os maiores valores para as 3 classes de maiores dimensões.

A existência de menor concentração de alumínio de troca no solo sob *P. menziesii* pode estar associado com a menor agregação. Embora existam valores superiores de Ca^{2+} e Mg^{2+} no

solo sob esta espécie, trata-se ainda de níveis baixos podendo não serem suficientes para provocar acréscimos na floculação relativamente às outras espécies.

Quadro 14 - Avaliação da estabilidade estrutural (VALLS e DÍAZ, 1993).

Avaliação da estabilidade estrutural					
Estabilidade estrutural (%)	12	12-20	20-30	30-40	40
Classificação	Muito baixa	baixa	média	alta	Muito alta

De acordo com esta classificação, pode adiantar-se que o solo sob *P. nigra* e *C. sativa* apresentam uma estabilidade de agregação alta. O solo sob *P. menziesii* mostra uma estabilidade de agregação média e o solo sob *P. pinaster* apresenta valores que a permite classificar de média a alta.

Os valores individuais da estabilidade da agregação nos horizontes Ah1 e Ah2 sob as quatro espécies constam nos Quadros A.15 e A.16.

4.2.4 - Horizonte Ah2 e B

Os valores obtidos para as diferentes determinações analíticas diminuem, de um modo geral, em todos os solos de Ah1 para Ah2 e mais marcadamente para B.

4.2.4.1 - Propriedades químicas

4.2.4.1.1 - Carbono total, Azoto total e Razão C/N

A variação das concentrações de C e N entre Ah1 e Ah2 é mais acentuada nos solos sob *P. pinaster* e *P. nigra* (Fig. 34), o que em princípio está relacionado com a quantidade e composição química da MO, grau de humificação e distribuição dos sistemas radiculares, factores que condicionam a penetração de MO no solo. De Ah2 para B as diferenças maiores são registadas nos solos sob *P. menziesii* e *C. sativa*, o que estará associado com a profundidade a que se encontra o horizonte B nos vários solos (mais profundo nos solos sob *P. menziesii* e *C. sativa*) e com os próprios componentes da MO. À partida, nos solos sob *C. sativa* e *P. menziesii* existe uma maior proporção de AH o que significa uma menor mobilidade dos compostos húmicos e daí a sua maior concentração em Ah2 e menor mobilidade para B.

O N é um elemento muito móvel no solo pelo que é provável ocorrer perdas por lixiviação e por desnitrificação.

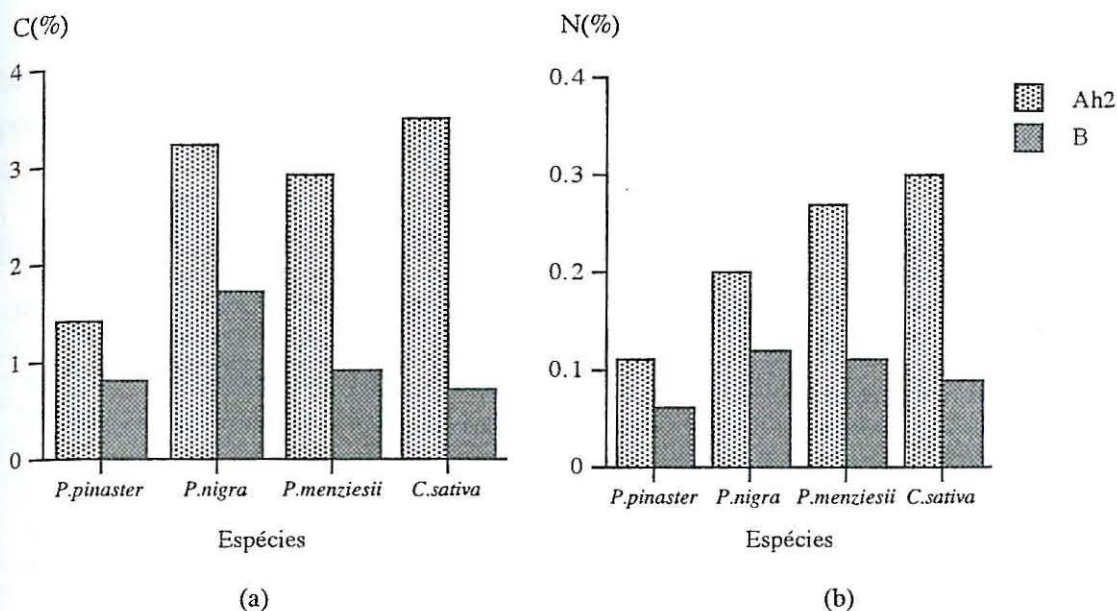


Fig. 34 - Teor em C (a) e N (b) nos horizontes Ah2 (a) e B (b) sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

A razão C/N mostra pequenas oscilações com a profundidade (Fig. 35), sendo mesmo inferior a 10 no horizonte B dos solos sob *P. menziesii* e *C. sativa*. STEVENSON *et al.* (1958) citado por DUCHAUFOR (1977), refere que este fenómeno deve-se à fixação de NH_4 , não de troca, pelos horizontes minerais.

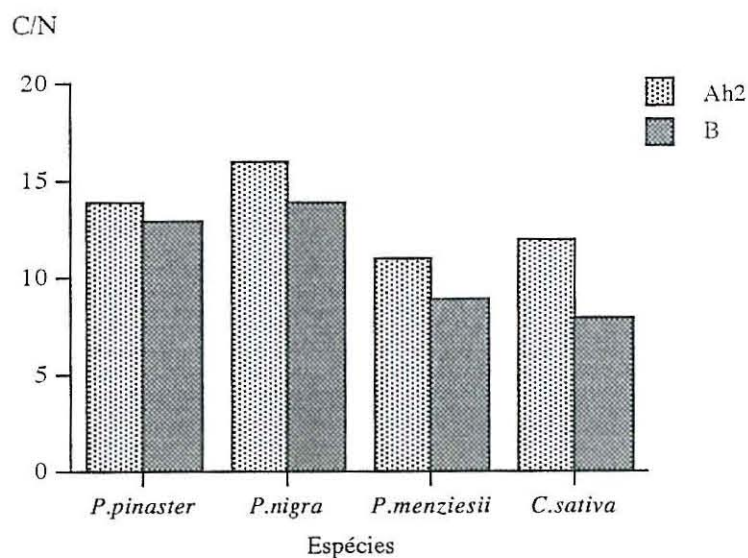


Fig. 35 - Razão C/N nos horizontes Ah2 e B sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

4.2.4.1.2 - Fósforo e Potássio assimiláveis

A diminuição das concentrações de P_2O_5 e K_2O (Fig. 36) é mais marcada no solo sob *P. pinaster*.

A quantidade de P_2O_5 tende a aumentar de Ah2 para B. O solo sob *P. menziesii*, se bem que em concentração muito baixa, mostra agora fósforo assimilável. Este aumento poderá estar relacionado com a fraca mobilidade deste elemento no solo e com a menor quantidade de raízes finas e micorrizas.

O K_2O é um elemento bastante móvel no solo pelo que é frequente sofrer perdas por lixiviação.

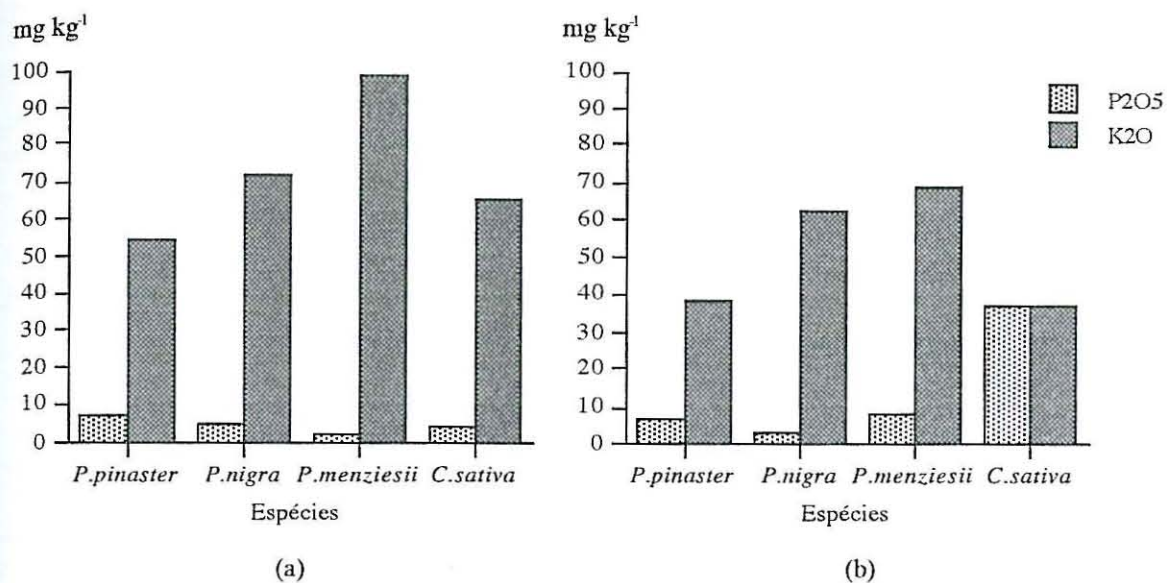


Fig. 36 - Concentração de P_2O_5 e K_2O assimiláveis nos horizontes Ah2 (a) e B (b) sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

4.2.4.1.3 - Complexo de troca

4.2.4.1.3.1 - Soma de bases de troca, Acidez de troca e Reacção do solo

Relativamente à SBT, o decréscimo em profundidade é mais evidente do horizonte Ah1 para o horizonte Ah2. As diferenças devem-se essencialmente à redução do teor em Ca e Mg, o que deverá estar relacionado com a reciclagem biológica de bases dos horizontes sub-superficiais para o horizonte superficial, com o teor e composição química da MO e com a absorção pelas raízes das plantas. Esta redução é notavelmente superior nos solos sob *P. menziesii* e *C. sativa*. Os valores encontrados em B devem estar essencialmente relacionados com fenómenos de lixiviação, que por sua vez dependem da CTCp.

Os valores obtidos situam-se em níveis muito baixos, entre 0,2 e 0,8 cmol(+) Kg⁻¹ (METSON, 1956).

Em relação ao Al de troca (principal responsável pela AT em clima temperado), regista normalmente uma diminuição em profundidade e conseqüentemente a AT também diminui. Este comportamento não é observado no solo sob *P. menziesii*, mostrando o valor mais baixo de AT no horizonte Ah1, o que está associado com a existência de maior quantidade de bases de troca na solução do solo neste horizonte.

A AT continua a seguir uma evolução inversa à da SBT. A redução da AT e SBT em profundidade (Fig. 37), deve-se ao menor teor em MO e argila, que são responsáveis pela electronegatividade do solo e consequentemente pela absorção de cátions básicos e ácidos.

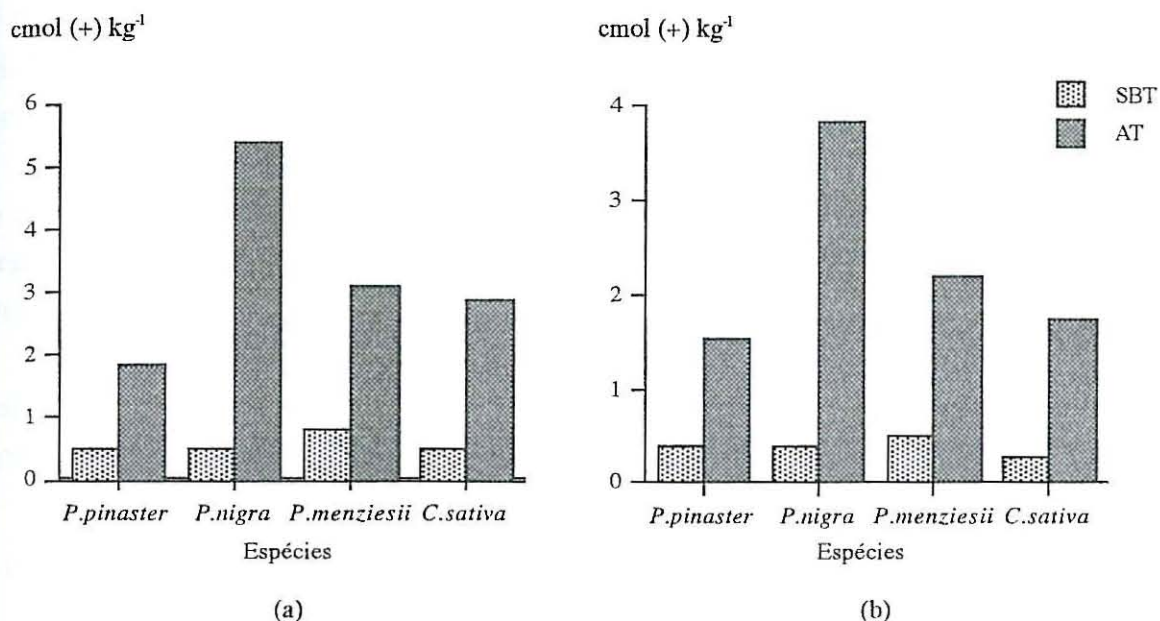


Fig. 37 - Soma das bases de troca (SBT) e Acidez de troca (AT) nos horizontes Ah2 (a) e B (b) sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

No que diz respeito aos valores de pH (H₂O), registam-se pequenas diferenças com a profundidade, sendo os valores muito próximos nos solos considerados (Fig. 38). Estas pequenas variações seguem sensivelmente as variações observadas na AT. Os valores continuam a situarem-se na zona considerada ácida (4.6 a 5,5) (COSTA, 1985).

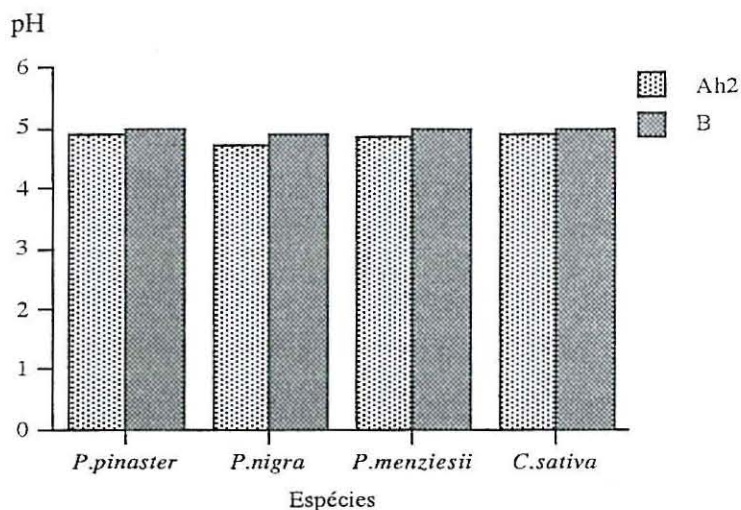


Fig. 38 - Valores de pH (H₂O) do solo nos horizontes Ah2 e B sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

4.2.2.5.2 - Saturação em bases e Saturação em acidez

De um modo geral, o GSB diminui de Ah1 para Ah2, enquanto que o GSA aumenta, mantendo ambos valores sensivelmente iguais de Ah2 para B (Fig. 40). A diminuição do GSB é mais nítida no solo sob *P. menziesii*, o que poderá estar relacionado com a reciclagem biológica de bases para o horizonte superficial e com a maior libertação de bases a partir dos horizontes orgânicos.

Os valores de GSB no horizonte Ah2 variam entre 4 e 7% e em B variam entre 4 e 8% o que segundo METSON (1956) correspondem a valores muito baixos. O solo sob *P. nigra* regista o valor mais elevado do GSA e o mais baixo de GSB, enquanto que no solo sob *P. pinaster* verifica-se o contrário.

Normalmente, o GSB e o GSA seguem evoluções no mesmo sentido (solos sob as espécies *P. pinaster* e *P. nigra*) ou o GSA diminui ligeiramente quando o GSB aumenta (solos sob as espécies *P. menziesii* e *C. sativa*).

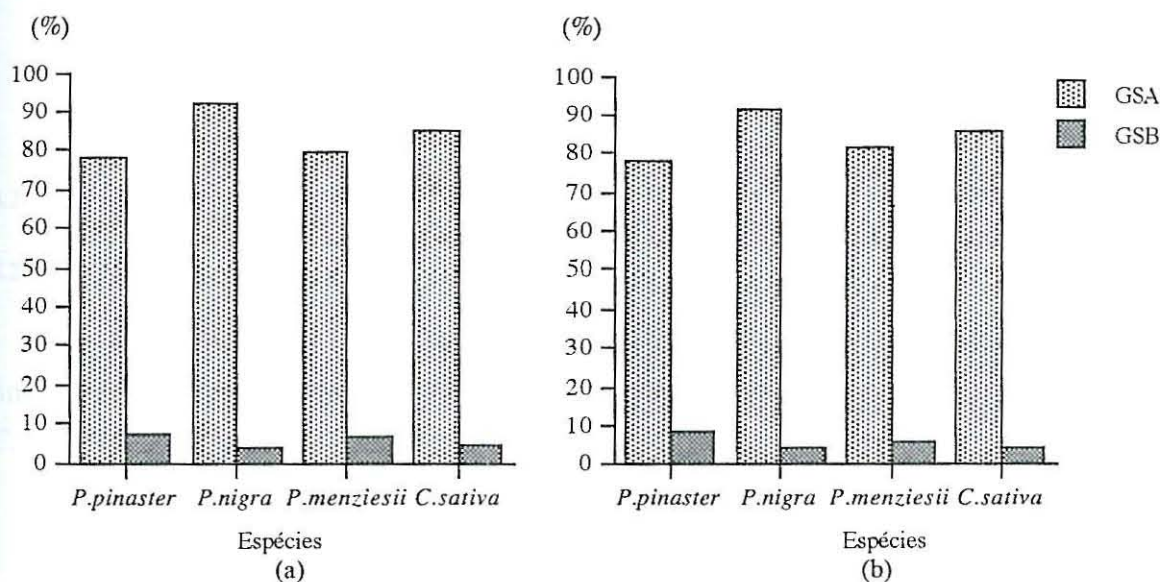


Fig. 39 - Saturação em bases (GSB) e Saturação em acidez (GSA) nos horizontes Ah2 (a) e B (b) sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

4.2.4.1.3.2 - Capacidade de troca catiónica potencial e Capacidade de troca catiónica efectiva

Os valores da CTC_p e CTC_e são muito idênticos nos solos sob *P. menziesii* e *C. sativa* e diminuem em profundidade em todos os solos (Fig. 40).

Os valores observados nos solos sob *P. pinaster* são os mais baixos, e mantêm-se sensivelmente iguais ao longo do perfil, o que estará relacionado com o teor em MO e argila que também sofrem menores variações em profundidade.

No horizonte Ah2 os valores de CTC_p situam-se entre 6,0 e 13,0 cmol(+) Kg⁻¹ e em B localizam-se no intervalo 5,0 a 8,0 cmol(+) Kg⁻¹, que de acordo com METSON (1956) são valores que se aproximam do nível baixo.

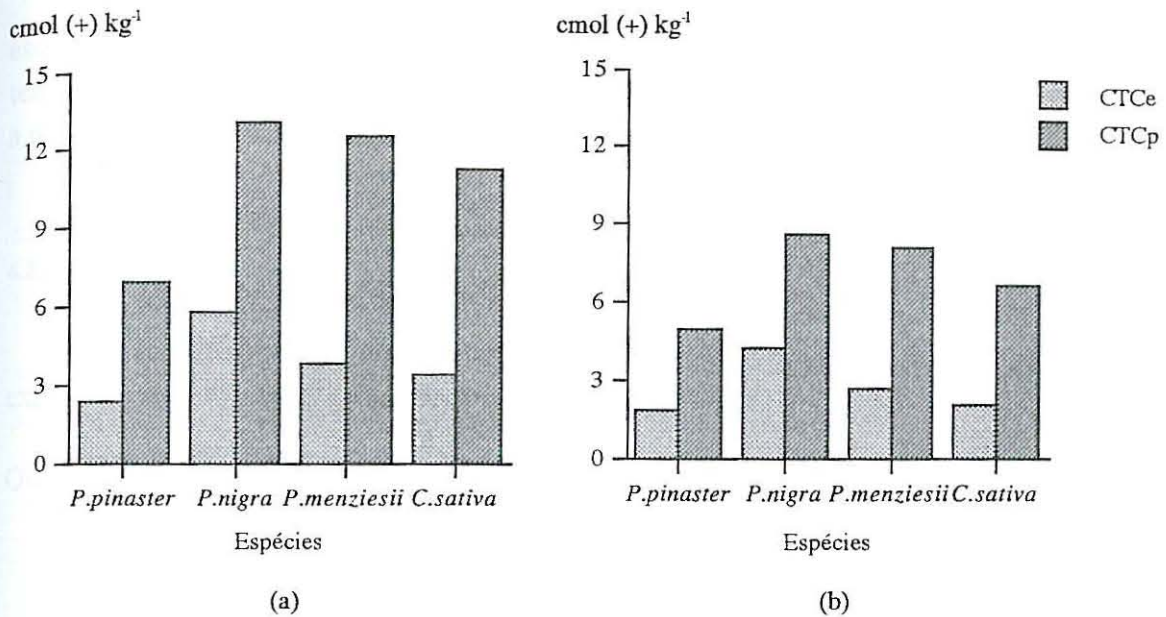


Fig. 40 - Capacidade de troca catiónica potencial (CTCp) e Capacidade de troca catiónica efectiva (CTCe) nos horizontes Ah2 (a) e B (b) sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

4.2.4.2 - Propriedades físicas

4.2.4.2.1- Elementos grosseiros e lotes de terra fina

Os valores de El gr e ag tendem a aumentar com a profundidade, enquanto que os de limo e argila tendem a diminuir. Esta tendência é mais evidente nos solos sob *P. menziesii* e *C. sativa* (Fig. 41).

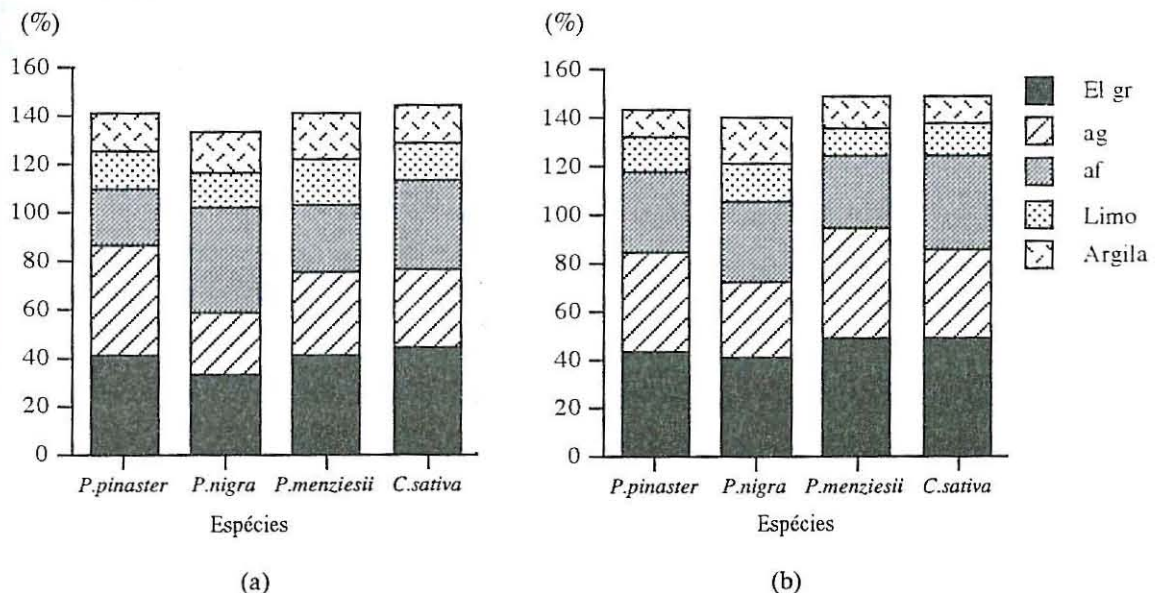


Fig. 41 - Teor em elementos grosseiros e Lotes de Terra fina nos horizontes Ah2 (a) e B (b) sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

O aumento da percentagem de partículas minerais de maiores dimensões deve-se essencialmente às camadas mais profundas serem mais recentes e como tal estiveram menos tempo sujeitas à meteorização, ao menor teor em MO, que é um agente de alteração mineral e à menor exposição aos agentes erosivos.

4.2.4.2.2 - Agregação

No Quadro 15 apresenta-se as proporções de agregados, por classes de diâmetro expressas em mm, obtidas no horizonte Ah2.

Quadro 15 - Material agregado de diferentes dimensões no horizonte Ah2, expressos em % do total em solo seco.

Espécie	> 4 (mm)	2 - 4 (mm)	1 - 2 (mm)	0.5 - 1 (mm)	0.2 - 0.5 (mm)	Total
<i>P. Pinaster</i>	3.5a	3.1a	4.9a	5.0a	4.8a	20.5a
<i>P. nigra</i>	3.2a	3.4a	5.0a	5.2a	5.4a	22.2a
<i>P. menziesii</i>	2.5a	3.2a	5.0a	5.0a	4.8a	20.5a
<i>C. sativa</i>	2.9a	3.2a	4.6a	5.0a	5.2a	20.8a
Amostra ref ^m	13.2b	10.2b	13.0b	11.1b	12.5b	60.0b

Os valores médios apresentados nas colunas seguidos da mesma letra não diferem significativamente ($P < 0,05$)

Em comparação com o horizonte Ah1, ocorreu uma diminuição evidente da estabilidade de agregação, o que está relacionado com a diminuição do teor em MO e CTC.

De um modo geral, observa-se que a percentagem de agregados das 2 classes de maiores dimensões ocorrem em menor proporção (Fig. 42). Neste horizonte, ao contrário do anterior, não se registam diferenças significativas entre as espécies, isto é, o comportamento da estabilidade de agregação tende a ser idêntica nos solos dos quatro povoamentos.

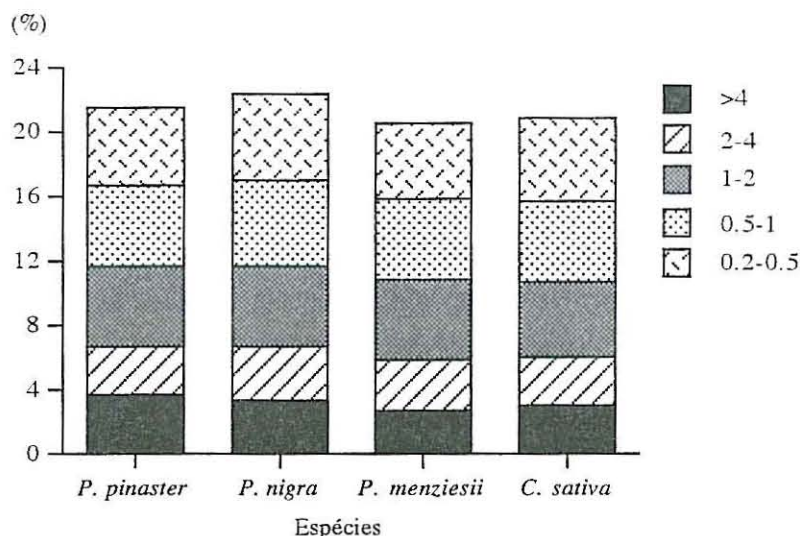


Fig. 42 - Material agregado por classe de diâmetro no horizonte Ah2 sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

De acordo com o Quadro 14, apresentado em 4.2.1.2.3, os solos dos quatro povoamentos mostram uma estabilidade de agregação média. Os dados obtidos são elucidativos de como a estrutura é menos estável em profundidade (VALLS e DÍAZ, 1993).

4.2.5 - Parâmetros mais relevantes nas inter-relações solo-planta

4.2.5.1 - Matéria orgânica e sua composição

Em todos os solos estudados, verifica-se uma diminuição do teor em MO com a profundidade (Fig. 43), sendo o solo sob *C. sativa* onde se regista o maior contraste do teor em MO do horizonte A (Ah1 e Ah2) para o horizonte B. Aqui há que ter em consideração a profundidade a que se encontra cada um dos horizontes considerados, a relação C/N dos resíduos orgânicos e do húmus do solo e a composição do húmus.

Quadro 16 - Profundidade, teor em matéria orgânica e razão C/N nos horizontes Ah1, Ah2 e B.

Espécie	Horizonte	Prof.* (cm)	MO (%)	C/N húmus	C/N resíduos orgânicos
<i>P. pinaster</i>	Ah1	0-10	3.6	15	78
	Ah2	10-28	2.5	14	
	B	28-40	1.3	13	
<i>P. nigra</i>	Ah1	0-7	7.0	14	102
	Ah2	7-25	6.0	16	
	B	25-55	2.9	14	
<i>P. menziesii</i>	Ah1	0-7	5.7	12	66
	Ah2	7-15	5.0	11	
	B	40-60	1.6	9	
<i>C. sativa</i>	Ah1	0-13	6.6	11	36
	Ah2	13-35	6.1	12	
	B	50-65	1.2	8	

* profundidade dos horizontes representativos

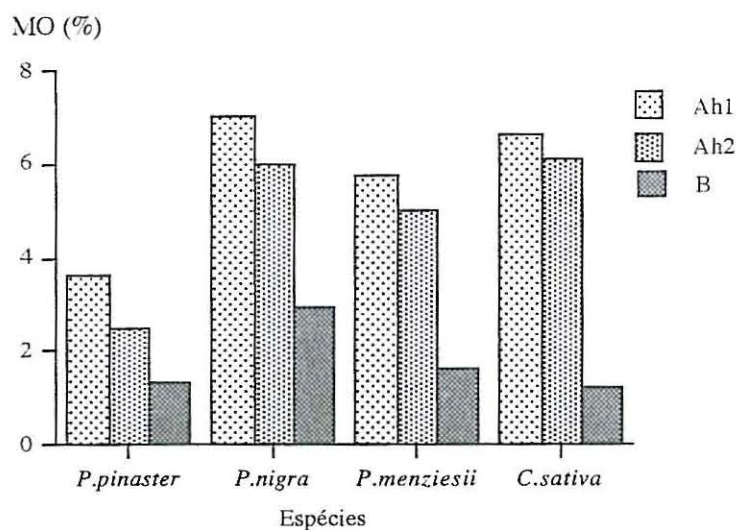


Fig. 43 - Concentração em MO nos horizontes Ah1, Ah2 e B sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

A profundidade a que se situam os horizontes Ah1 e Ah2 é idêntica para os solos sob as quatro espécies, sendo no entanto mais espessos no solo sob *C. sativa*. Em relação ao horizonte B, já se registam diferenças. Nos solos sob *P. pinaster* e *P. nigra* este horizonte é menos profundo. Por outro lado, a razão C/N dos resíduos orgânicos do horizonte O sob as espécies *P. pinaster* e *P. nigra* é mais elevada que sob as espécies *P. menziesii* e *C. sativa*, pelo que o grau de humificação vai ser menor para estas últimas (Quadro 16).

O horizonte A (Ah1 e Ah2) dos solos sob as espécies *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa* é caracterizado por um elevado teor em MO, proveniente dos resíduos do sistema radicular e da folhada, da actividade dos microorganismos do solo e da infiltração (GREEN *et al.*, 1993).

A razão C/N dos resíduos orgânicos de *C. sativa* quando comparada com a das restantes espécies é relativamente baixa, e o teor em lenhina também é inferior (AZEVEDO, 1997) pelo que os processos de decomposição ocorrem mais rapidamente e em consequência a incorporação de MO nos horizontes superficiais minerais também é mais rápida. Este facto aliado à composição do húmus podem justificar o elevado teor em MO no horizonte A, quando a acumulação de resíduos à superfície por hectare é baixa (Fig. 7). Poderá neste caso haver migração dos constituintes mais móveis (AF) e acumulação à superfície dos menos móveis (AH) (ARIAS *et al.*, 1993). Também MARTINS (1992), num estudo em condições ambientais idênticas às verificadas para este trabalho, verificou maior concentração de AH em Ah1 e Ah2 e menor concentração em B. A superior quantidade de MO no solo sob *P. nigra* é explicada pela maior quantidade de resíduos orgânicos acumulados à superfície daquele solo (Fig. 7) e taxa mais baixa de decomposição revelada pela perda de peso. Já o baixo teor em MO no solo sob *P. pinaster* pode encontrar explicação na menor concentração de resíduos orgânicos à superfície (Fig. 7) e pela elevada razão C/N destes resíduos (Quadro 16). Aqui, observa-se uma maior migração de MO ao longo do perfil, o que em princípio está relacionado com a composição do húmus. Pode pensar-se que os AF predominam sobre os AH, sendo os primeiros bastante móveis no solo. Esta hipótese é adiantada com base na CTC_p observada no horizonte B, onde o teor em argila diminui e a CTC_p mantém-se o que se justificará pela presença de AF que são o componente da MO mais electronegativo como referido em 2.1.3.2.

Esta hipótese corrobora ainda com os dados obtidos por ALMENDROS *et al.* (1983) num estudo sobre a evolução do húmus num solo sob vegetação, de gimnospérmicas, onde observou um predomínio de AF sobre os AH.

4.2.5.2- Azoto no solo

O azoto, ausente da rocha-mãe, não pode ser libertado por alteração, só os ganhos exteriores podem conservar o *stock* no solo. O elemento que o meio exterior fornece em maior quantidade é precisamente o N, que provém quer da fixação de N atmosférico pela microflora do solo (RANGER e BONNEAU, 1984) e decomposição dos resíduos orgânicos, quer

de ganhos directos pelas chuvas e poeiras. O retorno de N ao solo por decomposição dos detritos orgânicos, é geralmente superior ao verificado pela lixiviação das copas (RANGER e BONNEAU, 1984).

Nos quatro solos estudados, observa-se uma redução acentuada do teor em N do horizonte O para os horizontes minerais do solo o que também tem sido observado por outros autores (PRITCHETT e FISHER, 1987; GRIGAL *et al.*, 1991), diminuindo sempre a quantidade deste elemento com a profundidade (Fig. 44). Esta diminuição está relacionada, nomeadamente, com a diminuição da fonte fornecedora de N, fenómenos de lixiviação e desnitrificação e ainda com a imobilização pelos organismos do solo.

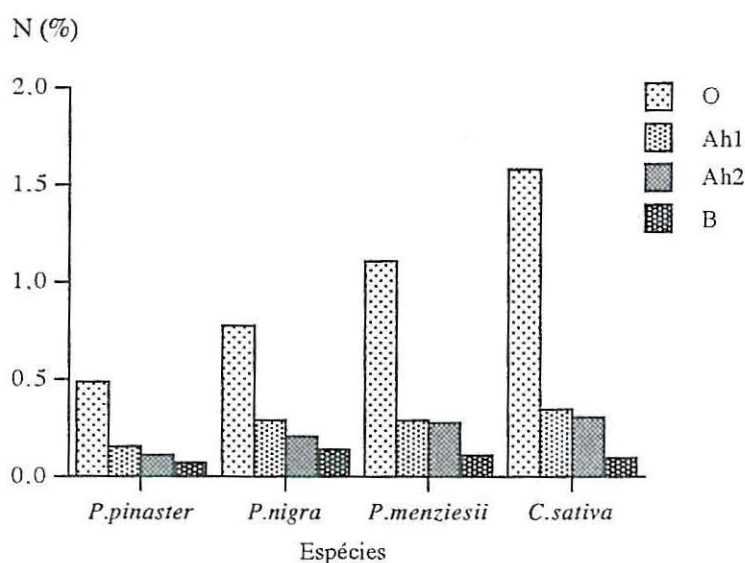


Fig. 44 - Teor em N nos horizontes O, Ah1, Ah2 e B sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

O maior teor em N nos horizontes Ah1 e Ah2 do solo sob *C. sativa* está associado com a maior riqueza dos resíduos em N.

4.2.5.3 - Complexo de troca do solo e Reacção do solo

Os valores, das determinações analíticas efectuadas no complexo do solo, diminuem com a profundidade nos quatro solos analisados. Estando a concentração de bases na solução do solo relacionada, em grande parte, com a natureza dos resíduos orgânicos produzidos e com a possibilidade de serem mantidas no sistema, as diferenças entre espécies justificam-se, essencialmente, pela concentração de bases na folhada, incorporação no solo e teores em matéria orgânica e argila. Os parâmetros referidos são geralmente mais favoráveis nos solos sob *P. menziesii* e *C. sativa*, pelo que os valores encontrados para as determinações no complexo de troca são também mais favoráveis para estas espécies.

Partindo do suposto que as coníferas, em geral, produzem uma marcada acidificação do perfil edáfico, os resultados obtidos não correspondem ao esperado, já que o solo sob a

caducifólia apresenta idêntico valor de pH ocorrendo mesmo o pH mais elevado sob uma resinosa, *P. menziesii*. De acordo com a classificação de COSTA (1985), estamos sempre em presença de solos ácidos.

Tal como já foi referido, os valores de pH no horizonte Ah1 entre as espécies *P. nigra* e *P. menziesii* têm um significado químico e biológico diferente, mas nos restantes horizontes os valores são semelhantes nos solos das quatro espécies, aumentando de um modo geral, ligeiramente com a profundidade (Fig. 45).

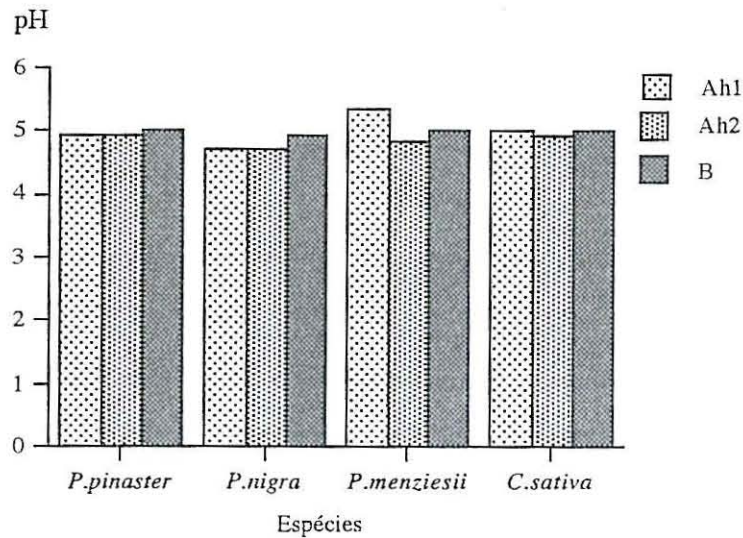


Fig. 45 - Valores de pH (H₂O) nos horizontes Ah1, Ah2 e B sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

Os processos de lavagem do perfil edáfico podem causar uma certa acidificação da parte superior do perfil, se não forem compensados pelo ciclo biogeoquímico (DUCHAUFOR, 1993).

Do ponto de vista geoquímico, e de uma forma generalizada, o processo de formação e desenvolvimento do solo em clima húmido (o clima da área em estudo segundo Thornthwaite é super húmido) é em si mesmo um processo acidificante devido à constante remoção de cátions do perfil edáfico (BRADY, 1990). Os constituintes mais solúveis, como o Ca, Mg, K e Na passam a fazer parte da solução do solo, são lixiviados pelas águas de drenagem ou escoamento (RANGER e BONNEAU, 1984), diminui a saturação em bases do complexo de troca e o sistema fica praticamente dominado pelos iões H⁺ e Al³⁺ (VIQUEIRA *et al.*, 1982).

Nos solos presentes, o complexo de troca é largamente dominado pelo ião Al³⁺ que determina, em parte, a acidez total. Para além deste efeito, há que considerar a acidificação devido à formação de ácidos orgânicos e compostos húmicos no decorrer da decomposição da matéria orgânica.

Os compostos húmicos e os minerais de argila para as condições climáticas em causa, são os constituintes do solo que mais contribuem para a CTC (Fig. 46), pelo que são registados valores superiores nos solos sob as espécies *P. menziesii* e *C. sativa*. Solos com baixos teores

em argila e matéria orgânica, normalmente, têm baixo valor de CTC (BORCHERS e PERRY, 1991; GEÓL e GEÓL, 1993).

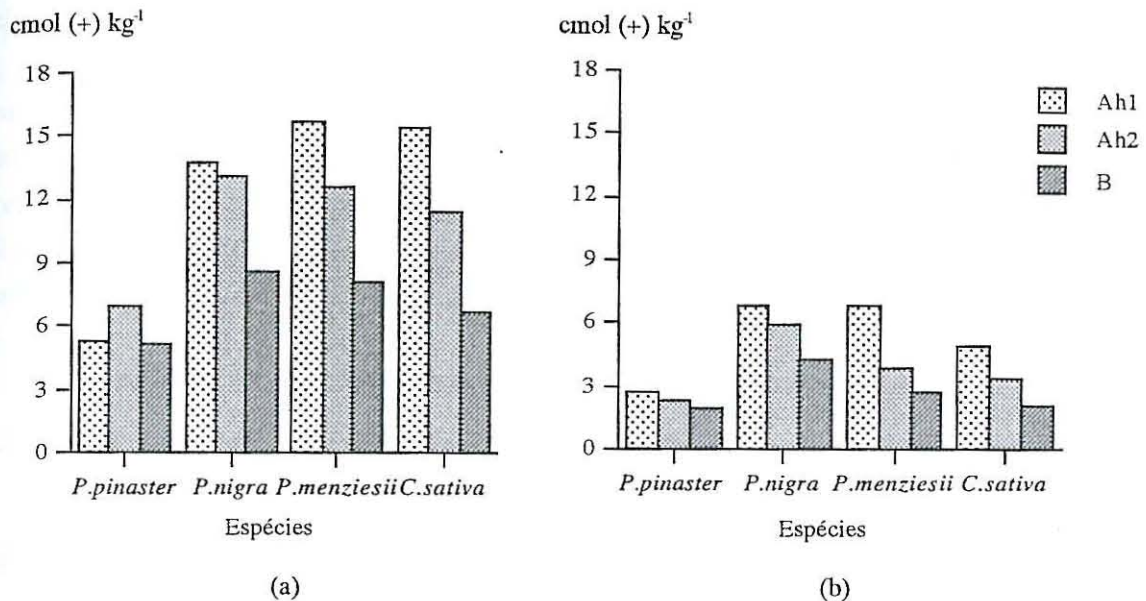


Fig. 46 - Capacidade de troca catiónica potencial (a) e capacidade de troca catiónica efectiva (b) nos horizontes Ah1, Ah2 e B sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*.

4.2.6 - Mineralogia da argila

Os resultados da identificação e semiquantificação da mineralogia da fracção argila, são apresentados no Quadro 17, para os perfis representativos dos solos sob as quatro espécies.

Quadro 17 - Mineralogia da argila nos solos sob as espécies *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*

Espécie	Horizonte	Prof. (cm)	Mineralogia da argila (classes de %)					
			caul.	ilite	verm. alum.	esmeclite	intersf.	vermic
<i>P. pinaster</i>	Ah1	0-10	3	2/3	1	-	-	3
	Ah2	10-20	3	2/3	1	-	-	3
	Bw	25-35	3	2/3	2	-	1	2/3
	BC	50-70	3/4	3	2	-	1	1/2
<i>P. nigra</i>	Ah1	0-7	3	3	1	-	-	3
	Ah2	7-22	3	3	1	-	-	3
	Bw	32-50	3	3	-	-	1	3
	BC	65-85	3/4	3	-	-	-	2
<i>P. menziesii</i>	Ah1	0-7	3	2	1	-	1	3
	Ah2	10-25	3	2/3	1	-	1	3
	Bw	45-55	3	2/3	1	-	-	3
	BC	60-80	3	2/3	1	-	-	2
<i>C. sativa</i>	Ah1	0-13	3	2	-	-	3	2
	Ah2	15-30	3	2	-	-	3	2
	Bw	50-60	3	3	-	1	2	-
	BC	90-120	3	3	-	1	2	-

Classes de %: 1<10% 10%<20% 20%<30% 30%<40% 40%<60%

Conforme os resultados expressos, a composição mineralógica da argila é idêntica nos solos analisados, pelo que esta fracção, que confere propriedades específicas ao solo, em princípio, não explica diferenças reveladas nas propriedades dos solos, nomeadamente na CTC.

Como se pode observar pelo Quadro 17, a caulinite, ilite, vermiculite e interestratificados, são os minerais mais frequentes, ocorrendo por proporção inferior a 10% de esmectite nos horizontes B e C do solo sob *C. sativa*. No solo sob estas espécies verifica-se a ausência de vermiculite aluminosa. Segundo TARDY (1969) citado por MARTINS (1992), a vermiculite aluminosa é própria dos meios onde ocorre uma evolução moderada e tem sido identificada em solos de climas temperados (SILVA, 1983).

4.2.6.1 - Distribuição dos minerais argilosos no perfil do solo

Apesar de tratar-se de valores semi-quantitativos, pode adiantar-se que a proporção dos diferentes minerais apenas regista pequenas variações com a profundidade e com as espécies.

A formação de minerais da fracção argilosa está largamente dependente do meio de alteração, que por sua vez depende da maior ou menor quantidade de compostos orgânicos presentes como referido em 2.1.3.3 e de factores ambientais, tais como humidade, temperatura, condições de drenagem e existência de bases.

A caulinite, ilite e vermiculite são os minerais mais importantes identificados nos solos em análise.

A proporção da caulinite (20-40%) mantém-se sensivelmente igual dos horizontes superficiais para os horizontes de alteração, o que também foi observado por FURTADO e MADEIRA (1988) e MARTINS (1992) em condições idênticas. Deste modo, este mineral é muito estável nas condições climáticas em causa, não ocorrendo a formação de gibsite.

Já a ilite tende a aumentar a proporção com a profundidade (normalmente 10-20% nos horizontes Ah1 e Ah2 e 20-40% nos horizontes B e BC/C). Estudos realizados em condições climáticas semelhantes têm mostrado uma tendência da ilite inversa à que foi aqui observada (FURTADO e MADEIRA, 1988 e MARTINS 1992). De acordo com DUCHAUFOR (1977), apoiado noutros autores, os solos com elevados teores de MO, reúnem condições propícias à ocorrência de uma hidrólise ácida durante a qual os minerais de micáceos são transformados mais intensamente, ocorrendo a eliminação completa de iões K⁺ e a transformação de ilites em vermiculites. Assim, como estes solos são ricos em MO é de esperar que as ilites passem a vermiculites, o que justifica a menor quantidade de ilite nos horizontes superficiais.

No que respeita à vermiculite, esta como um produto intermédio da alteração das micas, a sua presença está, em grande parte, dependente da intensidade de alteração. Como a alteração é mais intensa nos horizontes superficiais, as ilites podem ser transformadas em vermiculites, pelo que observa-se uma maior proporção de vermiculite (20-40%) para estes horizontes, o que é confirmado por MACIAS-VASQUEZ *et al.* (1982), FURTADO e MADEIRA (1988) e MARTINS (1992).

5 - CONCLUSÕES

Do estudo dos horizontes orgânicos e das propriedades dos solos desenvolvidos sob coberto das quatro espécies florestais analisadas é possível retirar as seguintes conclusões:

(1) Horizontes orgânicos

- Horizontes orgânicos mais espessos sob *P. pinaster* e *P. nigra*, o que está associado com a menor taxa de decomposição e com a maior produção (*P. nigra*) e maiores dimensões (*P. pinaster*) dos resíduos.
- De forma global, as concentrações de elementos minerais das espécies *P. menziesii* e *C. sativa* são mais elevadas e idênticas entre si, afastando-se das concentrações de elementos minerais das espécies *P. pinaster* e *P. nigra* que tendem a ser menores e idênticas.
- No conjunto das três camadas do horizonte orgânico (L+F+H), os valores médios obtidos para os elementos minerais nas quatro espécies diferem significativamente entre si no seguinte: concentração em N (mais elevada para a espécie *C. sativa*), P (mais baixa para o *P. nigra* e mais elevada para a *P. menziesii*) e razão C/N (mais baixa para a *C. sativa* e mais elevada para o *P. nigra*).
- Geralmente, as concentrações de elementos minerais aumentam, de L para H, resultado do processo de mineralização/humificação. As espécies *P. menziesii* e *C. sativa* evidenciam maiores concentrações em elementos minerais. A primeira apresenta superior concentração em P, Ca e Mg. A *C. sativa* mantém a superior concentração em N e K. As agulhas ou folhas são o componente orgânico mais concentrado em elementos minerais, o que é mais evidente nas espécies *C. sativa* e *P. menziesii*.
- Os níveis de nutrientes nas folhas não indicam sérias deficiências. As deficiências em nutrientes serão mais de recesso na espécie *P. nigra*, se bem que podem explicar-se pela possibilidade de translocação de nutrientes, nomeadamente Mg e P para órgãos mais jovens.

(2) Horizontes minerais

(i) acerca da morfologia

- Quanto à cor, os solos sob *P. menziesii* e *C. sativa* são mais escuros (pardo escuro), que os solos sob *P. pinaster* e *P. nigra* (pardo avermelhado escuro), o que parece estar relacionado com a qualidade da matéria orgânica produzida.
- Presença, nos solos sob as quatro espécies, de horizontes A úmbricos (Ah) e horizontes B câmbicos (Bw). Os primeiros apresentam espessura idêntica, tendencialmente mais espessos no solo sob *C. sativa*. Os segundos situam-se a maior profundidade nos solos sob *P. menziesii* e *C. sativa*, resultado da existência de um horizonte de transição AB.

(i) acerca do horizonte Ah1

- A densidade aparente total é geralmente superior a 1 enquanto que a densidade aparente da terra fina é inferior a 0,8. Os valores de uma e de outra não diferem significativamente entre solos. Os resultados interpretam-se essencialmente pelo teor de MO e elementos grosseiros que influenciam a porosidade.
- A estabilidade de agregação é menor no solo sob *P. menziesii*, o que está de acordo com o teor de alumínio de troca que também é mais baixo no solo sob esta espécie.
- As concentrações de elementos minerais diminuem consideravelmente dos horizontes orgânicos para o horizonte mineral Ah1. Observam-se inferiores concentrações de C e N no solo sob *P. pinaster*, o que poderá ser o resultado da menor quantidade de resíduos orgânicos acumulados à superfície e do menor grau de humificação. Em todos os solos registam-se valores muito baixos de P_2O_5 e valores médios a altos de K_2O . Os primeiros explicam-se por fenómenos de retenção e fixação e pela presença de micorrizas, os segundos estão essencialmente relacionados com a natureza da litologia e com a reciclagem de bases para o horizonte superficial.
- Sobre o complexo de troca, regista-se uma maior concentração de bases de troca no solo sob *P. menziesii*, seguida do solo sob *C. sativa*. A CTC_p também é maior para estas espécies, sendo os valores bastante mais elevados para o horizonte Ah1

que para os horizontes Ah2 e B. Quanto à AT é superior no solo sob *P. nigra*, devido à maior quantidade de alumínio presente.

- A reacção do solo, expressa pelos valores de pH (H₂O) situa-se em todos os solos na zona considerada ácida com o valor mais elevado (5,3) no solo sob *P. menziesii* e o mais baixo (4,7) no solo sob *P. nigra*, o que revela diferenças do ponto de vista químico e biológico.

(ii) acerca dos horizontes Ah2 e B

- As diferenças de valores das determinações analíticas nas quatro situações diminuem com a profundidade. A partir do horizonte Ah2, praticamente, não se registam diferenças significativas entre os solos.

(iii) acerca da mineralogia da argila

- A composição mineralógica da argila não revela diferenças substanciais nas quatro situações no que toca ao tipo de minerais e à sua proporção, o que reflete a ausência de uma influência notória das espécies no processo de alteração mineral.

(3) Tendência geral de evolução do solo comparativamente nas quatro situações

- Ao fim de aproximadamente 60 anos, os quatro solos apresentam tendência evolutiva semelhante. Observam-se diferenças ao nível do horizonte mineral superficial, nomeadamente no que respeita ao complexo de troca e valores de pH, o que parece relacionado com a natureza dos resíduos orgânicos produzidos. Confirma-se que ao nível dos horizontes orgânicos, registam-se diferenças entre espécies, que se manifestam claramente no primeiro horizonte mineral (0-10 cm), atenuando-se a partir daí.
- Apesar de passado 60 anos as diferenças registarem-se apenas na primeira camada, pergunta-se se estamos numa situação de equilíbrio, ou se continua uma dinâmica em que esta tendência tende a passar para camadas inferiores, o que requer continuação destes estudos.

BIBLIOGRAFIA

- AGROCONSULTORES e COBA., 1991. Carta dos Solos do Nordeste de Portugal. UTAD, Vila Real.
- ALMENDROS, G., POLO, A., BALLESTA, R. J. y GARCIA, C., 1983. Evolucion del humus en una secuencia catenal del valle de Valsain (Sierra de Guadarrama). *An. INIA/Serie Forestal*, 7: 9-22.
- ALMENDROS, G., y VELASCO F., 1984. Influencia de la vegetação en la evolución del humus de las tierras pardas meridionales sobre areniscas triásicas de la provincia de Guadalajara. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, 21 (4): 415-429.
- ALVES, A. A. M., 1988. Técnicas de produção florestal. I.N.I.C., Lisboa.
- ALVES, A. A. M. e PEREIRA, J. M. S., 1990. Impactes Ambientais e Sócio-Económicos do Eucaliptal em Portugal. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade Técnica de Lisboa. ISA.
- ANTA, R. M. C., GONZALEZ, A. P. y VIQUEIRA, F. D. F., 1979a. Nuevos datos sobre la influencia de la vegetacion en la formacion del suelo en Galicia (I). *An. de Edaf. y Agrob.* Tomo XXXVIII, 7-8, Madrid.
- ANTA, R. M. C., GONZALEZ, A. P. y VIQUEIRA, F. D. F., 1979b. Nuevos datos sobre la influencia de la vegetacion en la formacion del suelo en Galicia (II). *An. de Edaf. y Agrob.* Tomo XXXVIII, 9-10, Madrid.
- ARIAS, J. P., ROQUERO, E. and SANTANO, J., 1994. Soil structure stability in soils in semiarid conditions in relation to their possible degradation. 15th World congress of Soil Science, Volume 2b, México.
- ARIAS, M., BARRAL, M. T. y DÍAZ-FIERROS, F., 1993. Efecto Agregante de Complejos de Hierro y de Aluminio con Acidos Humicos. *In: El Estudio del Suelo y su Degradación en Relación con la Desertificación.* Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Tomo I: 28-35, Salamanca.
- ARROBAS, M. M. P., 1986. Estudo de Avaliação do Fósforo Assimilável em Solos de Trás-os-Montes. Relatório Final de Curso. UTAD. Vila Real.

- AZEVEDO, S., 1997. Evolução da composição química estrutural da folhada de *P. pinaster*, *P. nigra*, *P. menziesii* e *C. sativa*, durante o processo de composição. Relatório Final de Curso. UTAD, Vila Real.
- BACA, M. T., TOBAR, R., DE NOBILI, M., LEITA, L. y AZCON, R., 1993. Efecto de la incubacion de dosis de abono verde en un suelo con y sin fertilizante fosforado. Influencia sobre a materia organica y sobre la fertilidad del suelo. *In: El Estudio del Suelo y su Degradación en Relación con la Desertificación*. Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Tomo II: 551-558, Salamanca.
- BALBINO, L. R., 1968. La method Egner-Riehm et la determination du phosfore e du potassium "assimilável" des sols du Portugal. II Col. Eur: Mediterrânico Contrl. Fert. Plantas Cultivadas: 55-65, Sevilha.
- BARTOS, D. L. and DEBYLE, N. V. 1981. Quantity and decomposition, and nutrient dynamics of aspen litterfall in Utah. *For. Sci.*, **27**: 381-390.
- BENEDICTO, V.G. S. y TOVAR, S. J. L., 1993. Cambios en algunas condiciones del suelo por la incorporacion de estiercol. *In: El Estudio del Suelo y su Degradación en Relación con la Desertificación*. Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Tomo I: 45-51, Salamanca.
- BENIAMINO, F., PONGE, J. F. and ARPIN, P., 1991. Soil acidification under the crown of oak trees. I. Spatial distribution. *For. Ecol. Manage.*, **40**: 221-232.
- BINKLEY, D., 1986. Forest Nutrition Management. John Wiley & Sons, New York.
- BIRDSEY, R. A., PLANTINGA, A. J. and HEATH, L. S., 1993. Past and prospective carbon storage in United States forests. *For. Ecol. Manag.*, **58**: 33-40.
- BOCKHEIM, J. G., JEPSEN, E. A. and HEISEY, D. M., 1991. Nutrient dynamics in decomposing leaf litter of four tree species on a sandy soil in northwestern wisconsin. *Can. J. For. Res.*, **21**: 803-812.
- BONNEAU, M., 1983. Effet a 12 et 14 ans de la fertilisation sur deux plantations d'épicéa commun de l'ouest du massif central. *Rev. For. Fr.*, XXXV, **2**: 98-105.
- BONNEAU, M. et LÉVY, G., 1979. Assemblage et Organisation Physique des Particules. *In: Pédologie 2. Constituants et Propriétés du Sol*. Editado por M. Bonneau et B. Souchier. Masson.

- BORCHERS, J. G. and PERRY, D. A., 1991. The influence of soil texture and aggregation on carbon and nitrogen dynamics in southwest Oregon forests and clearcuts. *Can. J. For. Res.*, **22**: 298-305.
- BRADY, N. C., 1991. The Nature and Properties of Soils. Tenth Edition. Macmillan Publishing Company. New York.
- BRAY, J. R., 1972. Litter production in forest of the world. *In*: Water deficits and plant growth. Vol. III. Editado por T. T. Kozlowski. Academic Press, New York.
- CABRAL, 1982. Contribuição para a determinação da taxa de decomposição da folhada de *Eucalyptus globulus* Labill, e sua relação com factores ambientais. MAP. Instituto Nacional de Investigação Agrária. Estação Florestal Nacional.
- CLEMENTE, L., PASCOAL, J., SILJESTRÖM y GARCÍA; L. V., 1993. Rubefaccion Sobre Materiales Ácidos: Formas y Distribucion del Hierro. *In*: El Estudio del Suelo y su Degradación en Relación con la Desertificación. Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Tomo II: 942-950, Salamanca.
- CLUZEAU, D., GUO, Z. T., CHAUSSOD, R., FEDOROFF, N., NORMAND, M., PERRAUD, A. and VALENTIN, G., 1994. Interactions between soil, biological activities and organic matter enrichments in Champagne Soils. 15th World congress of Soil Science, Volume 2b, México.
- COSTA, J. B., 1985. Caracterização e constituição do solo. 3ª edição. Fundação Calouste Gulbenkian.
- COTRUFO, M. F., INESON, P. and ROWLAND, A. P., 1994. Decomposition of tree leaf litters grown under elevated CO₂: Effect of litter quality. *Plant and Soil*, **163**: 121-130.
- COUTINHO, J. F., 1989. Acidez do solo e Toxicidade do Alumínio. Calibração de métodos de avaliação da necessidade em cal. tese de Doutoramento. UTAD, Vila Real.
- COUTINHO, J., 1996. Automated Method for Sulphate Determination in Soil-Plant Extracts and Waters. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **27**: 727-740.
- DE PEDRO, F. V., 1989. Humus y evolucion regresiva de los suelos. *Ecologia*, **3**: 43-47.
- DE PEDRO, F. V. y PAVON, M. L., 1983. Dinamica de la humificacion en diversos ecosistemas de la Cordillera Cantabrica. *An. INIA/Serie Forestal*, **7**: 23-52.

- D'ÉPENOUX, F., 1994. Relations milieu-production. Application au pin noir d'autriche sur le versant nord du ventoux. *Rev. For. Fr.*, XLVI, 3: 223-234.
- DUCHAUFOR, Ph. et TOUTAIN, F., 1986. Apport de la pédologie a l'étude des écosystemes. *Bull. Ecol.*, 17: 1-9.
- DUCHAUFOR, Ph., 1977. Pédologie 1. Pedogénese et Classification. Ed.. Masson. París.
- DUCHAUFOR, Ph., 1993. La typologie des sols forestiers: Utilité d'un référentiel basé sur la pedogénese. *Rev. For. Fr.* XLV, 4: 417-424.
- ESWARAN, H., BERG, E. V. D. and REICH, P. 1993. Organic Carbon in Soils of the World. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57: 192-194.
- FAO-UNESCO, 1988. Soil Map of the World. Revised Legend. Roma.
- FEDERER, C. A., TURCOTTE, D. E. and SMITH, C. T., 1992. The organic fraction - bulk density relationship and the expression of nutrient content in forest soils. *Can. J. For. Res.*, 23: 1026-1032.
- FERNANDEZ, I. J., SON, Y., KRASKE, C. R., RUSTAD, L. E. and DAVID, M. B., 1993. Soil carbon dioxide characteristics under different forest types and after Harvest. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57: 1115-1121.
- FIGUEIREDO, T. d'A. F. R. 1990. Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo na estimativa da Erosão Potencial: O caso do Parque Natural de Montesinho. Bragança.
- FURTADO, A. F. A. S. e MADEIRA, M. A. V., 1988. Ocorrência da gibsite em solos derivados de granitos em Portugal Continental. Comunicação ao II Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sevilla.
- FYLES, J. W., FYLES, I. H. and FELLER, M. C., 1991. Nitrogen mineralization characteristics of forest floor organic matter on slash-burned sites in coastal British Columbia. *Can. J. For. Res.*, 21: 235-241.
- GALLARDO, F. O., 1993. Efecto de Al en el desarrollo vegetal y en la actividade nitrato reductase de dos variedades de trigo. *In: El Estudio del Suelo y su Degradación en Relación con la Desertificación. Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Tomo II: 686-693, Salamanca.*
- GANDULLO, J. M. y SANCHEZ-PALOMARES, O., 1976. Contribucion al estudo ecologico de la Sierra de Guadarrama. III. Los Suelos. *An. INIA/ Ser. Recursos Naturales/N*, 2: 37-51.

- GEÓL, C. M. P. y GEÓL, P. M. E., 1993. Variaciones en las propiedades químicas del suelo en relación a la implantación de diferentes asociaciones vegetales. *In: El Estudio del Suelo y su Degradación en Relación con la Desertificación*. Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Tomo II: 622-628, Salamanca.
- GERSPER, P. L. and HOLOWAYCHUK, N., 1971. Some effects of stemflow from forest canopy trees on chemical properties of soils. *Ecología*, **52**: 691-702.
- GOMES, M. P. e SILVA, A. ANTUNES., 1962. Um novo diagrama triangular para a classificação básica da textura do solo. *Est. agron.*, **3**: 1-9.
- GREEN, R. N., TROWBRIDGE, R.L. and KINKA, K., 1993. Towards a Taxonomic Classification of Húmus Forms. *Suplemento to Forest Science*, **39**: 1-48.
- GRIGAL, D. F., MCROBERTS, R. E. and OHMANN, L. F., 1991. Spatial Variation in Chemical Properties of Forest Floor and Surface Mineral Soil in the North Central United. *Soil Science*, **151**: 282-290.
- HONRUBIA, M., TORRES, P., DÍAZ, G. y CANO, A., 1992. Manual para Micorrizar Plantas en Viveros Forestales. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ICONA.
- HOUBA, V. J. G., VAN DER LEE, J. J., NOVOZAMSKI, I. and WALINGA, I., 1986. Soil and Plant Analysis. Part 5. Soil Analysis Procedures. Wageningen Univ., Wageningen.
- INMG., 1970. Clima de Portugal, Fascículo XIII. Serviço Meteorológico Nacional. Lisboa.
- INMG., 1978. Cartas das Isanómalas 1931/1960. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica. Lisboa.
- LENCASTRE, A. e FRANCO, F. M., 1984. Lições de Hidrologia. Universidade Nova de Lisboa. F. C. e Tecnologia, Lisboa.
- LEONARDI, S., RAPP, M. et ROSA, V., 1988. Répartition et dynamique de la matière organique dans une forêt de *Pinus laricio* Poir. *Ecologia Mediterranea* XIV, (3/4): 17-29.
- LINDSAY, W. L., 1979. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley & Sons, New York.
- LOUREIRO, A. C. M. M., 1986. Estudos de crescimento e de produção de algumas espécies florestais com interesse para a região montana subatlântica de Portugal. Tese de Doutoramento. UTAD. Vila Real.
- LOUREIRO, A. M., 1989. Cultura das Principais Espécies Florestais em Portugal. UTAD, Vila Real.

- LOURO, V., 1982. O Pinheiro Larício (*Pinus nigra* Arnold) em Portugal. "Divulgação Técnica". D.G.F. Lisboa.
- LUGO, A. E. and BROWN, S., 1992. Tropical forests as sinks of atmospheric carbon. *For. Ecolo. Manage.*, **54**: 239-255.
- MACIAS-VASQUEZ, F., GARCIA-RODEJA, G. E., GUTTIAN, R. F. y PUGA, P. M., 1980. Origen y distribución de la gibbsita en Galicia. *An. Edaf. Agrobiol.*, **39**: 1533-1563.
- MADEIRA, M. A. V., 1986. Influência dos Povoamentos de Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.) no solo, Comparativamente aos Povoamentos de Sobreiro (*Quercus suber* L.) e de Pinheiro (*Pinus pinaster* Ait.). Dissertação de Doutoramento. ISA. Lisboa.
- MADEIRA, M. A. V. e SERRALHEIRO, F. M., 1990. Decomposição de Folhas de Sobreiro e de Eucalipto e Colonização pela Mesofauna. Resultados Preliminares.
- MAHENDRAPPA, M. K., FOSTER, N. W., WEETMAN, G. F. and KRAUSE, H. H., 1986. Nutrient cycling in forest soils. *Can. J. Soil Sci.*, **66**: 547-572.
- MAIA, M. L. M., LUÍS, J. S. e OLIVEIRA, A.C., Sem data. Crescimento e produção de povoamentos de *Castanea sativa* Miller em alto fuste: Primeiros resultados.
- MARTÍ, C., BADIA, D. y ALCANIZ, J. M., 1993. Caracterización de los tipos de humus a lo largo de dos transectos altitudinales en la Cordillera Pirenaica (España). *In*: El Estudio del Suelo y su Degradación en Relación con la Desertificación. Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Tomo I: 264-270, Salamanca.
- MARTIN, A., GALLARDO, J. F. and REGINA, I. S., 1994. Soil organic matter and bioelement dynamics in broadleaf forest ecosystems of the "Sierra de Gata" mountain (Spain). 15th World congress of Soil Science, Volume **2B**, México.
- MARTINS, A. A. A., 1992. Génese e Evolução de Solos Derivados de Granitos. Estudo de uma Climo-Sequência no Norte de Portugal. Tese de Doutoramento. UTAD. Vila Real.
- MARTINS, A., 1997. Litter production and composition organic horizons and soil properties on Forest Ecosystems in Northern Portugal. Cast Project, Environment Program. Final Report.
- MCLEAN, E. O., 1982. Soil pH and lime requirement. *In*: Page, A. C., Miller, R. H. and Keeney, D. R. (eds.). Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy 9. 2nd ed., 199-224. ASA/SSSA, Madison.

- MENGE, J. A., LABANAUSKAS, C. K., JOHNSON, E. L. V. and PLATT, R. G., 1978. Partial Substitution of Mycorrhizal Fungi for Phosphorus Fertilization in the Greenhouse Culture of Citrus. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **42**: 926-930.
- MERZOUKI, A. et LOSSAINT, P., 1990. L'Impact du Déboisement sur le Compartiment "Matière Organique" d'un Sol Rouge Méditerranéen. *Bull. Ecol.* **21** (2): 83-88.
- MERZOUKI, A., LOSSAINT, P. et RAPP, M., 1989. L'effet d'une coupe à blanc sur le compartiment biomasse microbienne d'un sol rouge méditerranéen. *Pedobiologia*, **33**: 221-228.
- MERZOUKI, A., LOSSAINT, P., BILLES, G. et RAPP, M., 1990. L'impact du déboisement sur l'azote minéral susceptible d'être absorbé par un taillis de chêne vert (*Quercus ilex* L.) en reconstitution. *Ann. Sci. Forest.* **21**: 633-641.
- MESANZA, J. M., CASADO, H. and CASTILLO, F. J., 1993. Nutrient concentrations in *Pinus radiata* needles in the Basque Country (Spain): a preliminary classification of parameters and sites. *Ann. Sci. For.*, **50**: 23-36.
- METSON, A. J. 1956. Methods of Chemical Analysis for Survey Samples. Soil Bureau Bol. n° 12. New Zealand Dept. Scient. Ind. Research.
- MURPHY, J. and RILEY, J. P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytical Chemica Acta* **27**: 31-36.
- OBATOLU, C. R. and AGBOOLA, A. A., 1994. Soil organic matter improvement as key to prevention of pollution in Agricultural Soil and Underground Water the Nigerian Experience. 15th World congress of Soil Science, Volume **2b**, México.
- OECHEL, W. C. and STRAIN, B. R., 1985. Native species responses to increased carbon dioxide concentration. *In*: Direct Effects of Increasing Carbon Dioxide on Vegetation. Eds. B. R. Strain and J. D. Cure: 117-154.
- OWENSBY, C. E., AUEN, L. M. and COYNE, P. I., 1994. Biomass production in a nitrogen-fertilized, tallgrass prairie ecosystem exposed to ambient and elevated levels of CO₂. *Plant and Soil*, **165**: 105-113.
- PAIVA, J., 1990. O castanheiro em Portugal. Quercus. Coimbra.
- PEARCE, F., 1989. O efeito de estufa. Universo da Ciência. Edições 70.
- PEREIRA, J. S., 1978. Ciclos Biogeoquímicos nas Florestas. ISA.

- PIRES, A. L. e PORTELA, E., 1994. Balanço de nutrientes em dois soutos de Trás-os-Montes. *III Congresso Nacional. Actas I*, 142-153.
- POESEN, J. and LAVEE, H., 1994. Rock fragments in top soils: significance and processes. *Catena*, **23**: 1-28.
- POLGLASE, P. J., JOKELA, E. J. and COMERFORD, N. B., 1992. Phosphorus, Nitrogen, and Carbon Fractions in Litter and Soil of Southern Pine Plantations. *Soil Sci. Am. J.* **56**: 566-572.
- PORTELA, E. M. A. C., 1989. Avaliação da Disponibilidade do Potássio em Solos de Trás-os-Montes. Contribuição para o seu estudo. Tese de Doutoramento. UTAD. Vila Real.
- PRESCOTT, C. E., TAYLOR, B. R., PARSONS, W. F. J., DURALL, D. M. and PARKINSON, D., 1993. Nutrient release from decomposing litter in Rocky Mountain coniferous forests: influence of nutrient availability. *Can. J. For. Res.*, **23**: 1576-1586.
- PRITCHETT, W. L. and FISHER, R. F., 1987. Properties and Management of Forest Soils. Second Edition. John Wiley & Sons.
- RAMPAZZO, N., STRAUB, P. and BLUM, W. E. H., 1994. Structure assessment of two agricultural soils from lower Austria. 15th World congress of Soil Science, Volume **2b**, México.
- RANGER, J. et BONNEAU, M., 1984. Effets prévisibles de l'intensification de la production et des récoltes sur la fertilité des sols de forêt. Le cycle biologique en forêt. *Rev. For. Fr.*, XXXVI, **2**: 93-111.
- RAPP, M., 1984. Répartition et flux de matière organique dans un écosystème à *Pinus pinea* L. *Ann. Sci. For.*, **41 (3)**: 253-272.
- RAPP, M. e LEONARDI, S., 1988. Evolution de la litière au sol au cours d'une année dans un taillis de chêne vert (*Quercus ilex*). *Pedobiologia*, **32**: 177-185.
- RAPP, M., 1990. Nitrogen status and mineralization in natural and disturbed mediterranean forests and coppices. *Plant and Soil*, **128**: 21-30.
- RAWLS, W. J., 1983. Estimating soil bulk density from particle size analysis and organic matter content. *Soil Sci.*, **135** : 123-125.
- RIBEIRO, R. e MADEIRA, M., 1994. Root decomposition process in Mediterranean conditions. 15th World congress of Soil Science, Volume **2b**, México.
- ROCHEFORT, L. and BAZZAZ, F. A., 1992. Growth response to elevated CO₂ in seedlings of four co-occurring birch species. *Can. J. For. Res.*, **22**: 1583-1587.

- RODRÍGUEZ, M. R. y VELASCO, F., 1987. Estudio ecologico y bioquimico de la humificación en bosques de *Quercus royundifolia* en medio carbonatado y desaturado. *Ecología*, 1: 53-62, Salamanca.
- ROSS, S., 1989. Soil Processes. A Systematic Approach. Routledge, London.
- ROUHIER, H., BILLÈS, G., EL KOHEN, A., MOUSSEAU, M. and BOTTNER, P., 1994. Effect of elevated CO₂ on carbon and nitrogen distribution within a tree (*Castanea sativa* Mill.) - soil system. *Plant and Soil*, 162: 281-292.
- SAMPAIO, E., AZEVEDO, A. e SAMPAIO, J., 1994. Soil macroporosity continuity evaluated by a fast image analysis technique. 15th World congress of Soil Science, Volume 2b, México.
- SANTOS, Q., 1991. Fertilização - Fundamentos da Utilização dos Adubos e Correctivos. Publicações Europa América, Mem Martins.
- SCHLENTNER, R. E. and VAN CLEVE, K., 1985. Relationships between CO₂ evolution from soil, substrate temperature, and substrate moisture in four mature forest types in interior Alaska. *Can. J. For. Res.*, 15: 97-106.
- SCHNITZER, M., 1991. Soil Organic Matter - The next 75 years. *Soil Science*, 151: 41-58.
- SCHROEDER, D., 1984. Soils - Facts and Concepts. Int. Potash Institute, Bern
- SILVA, A. ANTUNES., 1967. Determinação da textura do solo. Método da pipeta de Robinson. *Pedologia*, 2: 129-139, Oeiras.
- SILVA, J. M. V., 1983. Estudo mineralógico da argila e do limo de solos derivados de granitos, xistos e rochas básicas da região de Trás-os Montes. *Garcia de Orta, Ser. Est. Agron.*, 10: 27-36.
- SOIL SURVEY STAFF, 1981. Examination and Description of Soils in the Field. *In*: Soil Survey Manual: 4-1, 4-107. Soil Conservation Service, USDA, Washington D. C.
- SOUSA, J. R. P. M., 1995. Estudo da Adaptabilidade de Seis Métodos Extractivos a Solos Representativos de Portugal. Relatório Final de Curso. UTAD. Vila Real.
- STEVENSON, F. J. and FITCH, A., 1986. Chemistry of complexation of metal ions with soil solution organics. *In*: Huang, P. M. and Schnitzer, M. (eds). Interaccions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes, 29-57. Soil Sci Am. Inc., Madison.

- STEWART, V. I., ADAMS, W. A. and ABDULLAH, H. H., 1970. Quantitative pedological studies on soils derived from silurian mudstones II. The relationship between stone content and the apparent density of the fine earth. *J. Soil Sci.*, **21**: 248-255.
- STOHLGREN, T. J., 1988. Litter dynamics in two Sierra Nevada mixed conifer forests. II. Nutrient release in decomposing leaf litter. *Can. J. For. Res.*, **18**: 1136-1144.
- TAN, K. H., 1986. Principles of soil chemistry. Second Edition, New York.
- THOMAS, G. W., 1982. Exchangeable cations: *In*: Page, A. C., Miller, R. H. e Keeney, D. R. (eds.). Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy 9 2nd ed., 159-165. ASA/SSSA, Madison.
- TORRI, D., POESEN, J., MONACI, F. and BUSONI, E., 1994. Rock fragment content and fine soil bulk density. *Catena*, **23**: 65-71.
- TOUTAIN, F., 1981. Les humus forestiers. Structures et modes de fonctionnement. *Rev. For. Fr.*, **33**: 449-477.
- TOUTAIN, F., DIAGNE, A. et LETACON, F., 1988. Possibilités de modification du type d'húmus et d'amélioration de la fertilité des sols à moyen terme en hêtraie par apport d'éléments minéraux. *Rev. For. Fr.*, **2**: 99-107.
- TRAVASSOS, C. A. P. C., 1994. Avaliação da Disponibilidade de Fósforo em Solos do Norte e Centro de Portugal. Relatório Final de Curso. UTAD. Vila Real.
- VALLS, V. B. y DÍAZ, J. S., 1993. Metodología para el estudio y valoración de los factores indicadores y mecanismo de degradación física en la provincia de Valência. *In*: El Estudio del Suelo y su Degradación en Relación con la Desertificación. Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Tomo I: 52-60, Salamanca.
- VAN VEEN, J. A., LILJEROTH, E., LEKKERKERK, L. J. A. and VAN, G. S. C., 1991. Carbon fluxes in plant-soil systems at elevated atmospheric CO₂ levels. *Ecol. Ap.*, **1**: 175-181.
- VERDIER, B., 1975. Étude de l'atmosphère du sol. Éléments de comparaison et signification écologique de l'atmosphère de un sol brun calcaire et d'un sol lessivé podzolique. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, **23**: 591-626.
- VIQUEIRA, F. D. F., ANTA, R. C. y GONZÁLEZ, A. P., 1982. As Espécies Florestais e os Solos da Galícia. Publicacións do Seminario de Estudos Galegos. Edicións do Castro.
- VITOUSEK, P. M., 1983. The effects of deforestation on air, soil and water. *In*: Mooney, H. A. et Gordon, M. Ecological Studies, **4**: 129-144.

- VOIGT, G. K., 1965. Nitrogen recovery from decomposing tree leaf tissue and forest humus. *Soil Sci. Soc. Amer.*, **29** (6): 756-759.
- WALKLEY, A. and BLACK, I. A., 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, **37**: 29-37.
- WARING, R. H. and SCHLESINGER, W. H., 1985. Forest ecosystems. Concepts and management. Academia Press, Inc., New York.
- WESEMAEL, B. V., 1993. Litter decomposition and nutrient distribution in humus profiles in some mediterranean forests in southern Tuscany. *Forest Ecology and Management.*, **57**: 99-114.
- ZAGAL, E., 1994. Carbon distribution and nitrogen partitioning in a soil-plant system with barley (*Hordeum vulgare* L.) ryegrass (*Lolium perenne*) and rape (*Brassica napus* L.) grown in a 14 CO₂-atmosphere. *Plant and Soil*, **166**: 63-74.
- ZENG, Y., GANTZER, C. J. and PEYTON, R. L., 1994. Fractal Analysis of Soil Structure. 15th World congress of Soil Science, Volume **2b**, México.

ANEXOS

Quadro A.1 - Biomassa nos horizontes orgânicos sob *P. pinaster*

Espécie	camada	agulhas	M/DP/CV	pinhas	M/DP/CV	ramos	M/DP/CV
		(ton/ha)		(ton/ha)		(ton/ha)	
<i>P. pinaster</i>	L1	2,4	3,5	0,1	0,5	0,8	0,9
	L2	2,0	1,8	0,1	0,8	0,3	0,7
	L3	4,2	51,0	0,1	164,2	2,0	77,7
	L4	3,6		0,1		0,7	
	L5	3,7		0,7		1,5	
	L6	0,6		0,1		1,4	
	L7	4,0		0,1		2,3	
	L8	7,9		1,6		1,0	
	L9	5,0		0,1		0,4	
	L10	2,7		1,1		0,2	
	L11	3,7		0,0		1,3	
	L12	5,5		0,1		0,2	
	L13	1,4		2,9		0,2	
	L14	3,6		0,2		0,2	
	L15	2,9		0,3		0,3	
	L16	2,0		0,1		1,7	
	F1	7,3	9,9	0,0	0,1	1,2	0,9
	F2	9,5	2,7	0,0	0,2	0,9	0,9
	F3	13,4	26,7	0,0	176,1	0,4	101,4
	F4	11,0		0,1		0,7	
	F5	14,9		0,5		3,9	
	F6	11,1		0,2		0,5	
	F7	10,8		0,0		1,3	
	F8	8,9		0,0		0,7	
	F9	11,4		0,0		1,2	
	F10	7,7		0,6		0,2	
	F11	12,6		0,1		1,2	
	F12	5,3		0,1		0,1	
	F13	9,6		0,0		0,6	
	F14	9,9		0,0		0,5	
	F15	10,3		0,0		0,3	
	F16	5,3		0,0		0,1	
	H1	5,1	7,7				
H2	11,0	4,8					
H3	5,5	61,7					
H4	5,4						
H5	13,6						
H6	5,0						
H7	14,4						
H8	12,8						
H9	15,8						
H10	11,5						
H11	8,9						
H12	3,6						
H13	2,4						
H14	2,9						
H15	3,3						

Quadro A.2 - Biomassa nos horizontes orgânicos sob *P. nigra*

Espécie	camada	agulhas	M/DP/CV	pinhas	M/DP/CV	ramos	M/DP/CV
		(ton/ha)		(ton/ha)		(ton/ha)	
<i>P. nigra</i>	L1	5,6	3,6	5,2	10,7	3,3	5,3
	L2	1,5	1,3	5,2	8,5	0,4	7,8
	L3	3,6	36,8	30,9	79,1	2,3	147,4
	L4	5,6		1,2		3,6	
	L5	3,6		17,3		3,7	
	L6	4,8		8,4		11,3	
	L7	3,3		14,2		2,1	
	L8	3,4		12,6		2,2	
	L9	3,6		10,0		1,2	
	L10	4,7		4,1		6,3	
	L11	2,3		1,5		0,8	
	L12	2,7		12,7		0,4	
	L13	3,8		25,3		8,3	
	L14	4,0		6,8		2,2	
	L15	1,1		5,6		31,4	
	F1	15,2	17,1	5,1	5,7	7,0	2,6
	F2	14,0	4,1	0,8	4,9	0,4	2,5
	F3	15,6	24,2	4,6	86,6	0,9	98,9
	F4	12,3		0,1		0,6	
	F5	23,5		4,4		1,9	
	F6	20,2		6,1		1,2	
	F7	14,1		13,0		3,9	
	F8	15,7		14,4		1,9	
	F9	17,4		6,0		1,3	
	F10	16,8		4,1		8,7	
	F11	12,0		0,4		0,4	
	F12	21,2		2,9		1,8	
	F13	20,8		15,8		5,3	
	F14	24,9		5,5		2,4	
	F15	12,5		2,0		0,7	
	H1	39,9	14,3				
	H2	8,0	8,3				
	H3	17,2	58,0				
H4	12,1						
H5	7,4						
H6	7,3						
H7	14,3						
H8	11,9						
H9	14,8						
H10	7,7						
H11	11,5						
H12	8,7						
H13	16,5						
H14	21,9						
H15	15,1						

Quadro A.3 - Biomassa nos horizontes orgânicos sob *P. menziesii*

Espécie	camada	agulhas (ton/ha)	MDP/CV	pinhas (ton/ha)	MDP/CV	ramos (ton/ha)	MDP/CV
<i>P. menziesii</i>	L1	4,8	4,6	1,1	0,5	10,8	6,6
	L2	3,9	3,3	0,0	0,5	4,5	3,8
	L3	1,8	72,2	0,0	101,5	13,4	56,9
	L4	2,2		0,5		8,4	
	L5	3,8		0,9		10,9	
	L6	6,1		0,5		11,2	
	L7	9,9		0,5		6,8	
	L8	2,9		0,0		4,0	
	L9	3,3		0,0		1,6	
	L10	14,1		0,7		8,5	
	L11	3,4		0,0		3,6	
	L12	3,5		1,2		1,8	
	L13	3,3		0,0		4,6	
	L14	3,0		0,7		2,7	
	L15	2,3		1,6		6,3	
	F1	22,8	12,0	0,9	0,1	1,2	0,6
	F2	13,0	5,1	0,5	0,2	0,3	0,6
	F3	8,0	42,7	0,0	226,9	0,2	92,6
	F4	18,0		0,0		2,0	
	F5	11,0		0,1		0,6	
	F6	12,6		0,6		0,9	
	F7	11,1		0,6		0,3	
	F8	12,0		0,0		0,4	
	F9	1,8		0,0		1,6	
	F10	17,0		0,0		0,4	
	F11	7,1		0,0		0,1	
	F12	12,3		0,0		0,1	
	F13	12,3		0,0		0,2	
	F14	6,2		0,0		0,1	
	F15	15,1		0,0		0,9	
	H1	12,5	8,6				
	H2	13,3	2,9				
	H3	8,5	34,0				
H4	13,4						
H5	10,5						
H6	6,9						
H7	6,6						
H8	8,1						
H9	7,8						
H10	7,0						
H11	6,3						
H12	9,5						
H13	9,4						
H14	3,2						
H15	5,8						

Quadro A.4 - Biomassa nos horizontes orgânicos sob *C. sativa*

Espécie	camada	folhas (ton/ha)	M/DP/CV	ouriços (ton/ha)	M/DP/CV	ramos (ton/ha)	M/DP/CV
<i>C. sativa</i>	L1	2,1	2,0	0,1	0,2	0,5	0,4
	L2	2,2	1,0	0,6	0,2	0,0	0,4
	L3	2,0	50,4	0,1	99,0	1,0	96,7
	L4	1,4		0,3		0,3	
	L5	1,6		0,2		1,1	
	L6	2,1		0,0		0,0	
	L7	1,2		0,0		0,1	
	L8	2,8		0,0		0,6	
	L9	1,5		0,5		0,1	
	L10	2,3		0,1		4,6	
	L11	0,8		0,6		0,6	
	L12	0,9		0,5		0,1	
	L13	4,5		0,0		0,3	
	L14	3,3		0,2		0,7	
	L15	1,4		0,1		0,0	
	F1	7,6	7,2	0,0	0,2	0,7	0,6
	F2	9,6	2,4	0,1	0,2	0,2	0,4
	F3	6,4	32,9	0,1	122,4	1,6	61,6
	F4	5,9		0,1		0,3	
	F5	3,4		0,1		0,9	
	F6	6,6		0,1		0,9	
	F7	6,2		0,1		0,5	
	F8	6,7		0,0		0,3	
	F9	7,0		0,4		0,3	
	F10	7,8		0,1		0,7	
	F11	5,1		0,5		0,7	
	F12	5,7		0,8		0,5	
	F13	6,3		0,0		0,6	
	F14	12,5		0,3		0,6	
	F15	11,4		0,3		0,1	
	H1	6,8	5,7				
	H2	4,9	1,8				
	H3	4,2	31,8				
H4	7,3						
H5	4,1						
H6	6,4						
H7	6,3						
H8	6,8						
H9	5,9						
H10	4,1						
H11	10,4						
H12	3,4						
H13	4,5						
H14	6,6						
H15	4,0						

Quadro A.5 - Teor em cinzas e concentração de C nos horizontes orgânicos sob *P. pinaster*

Espécie	camada	amostra	Cinzas (%)	M/DP/CV	C (%)	M/DP/CV	
<i>P. pinaster</i>	L folhas	31	2,3	2,568	56,7	56,515	
		31	2,6	0,267	56,5	0,155	
		31	2,8	10,411	56,4	0,274	
		36	1,2	1,267	57,3	57,270	
		36	1,4	0,126	57,2	0,073	
		36	1,2	9,964	57,3	0,128	
		42	1,6	1,357	57,1	57,218	
		42	1,4	0,270	57,2	0,156	
		42	1,1	19,868	57,4	0,273	
		47	3,7	3,281	55,9	56,102	
		47	3,3	0,381	56,1	0,221	
		47	2,9	11,610	56,3	0,394	
		53	2,6	2,268	56,5	56,689	
		53	2,6	0,558	56,5	0,324	
		53	1,6	24,621	57,1	0,571	
		L pinhas	32	2,0		56,9	
			37	0,5	0,579	57,7	57,669
			37	0,9	0,272	57,5	0,158
	37		0,3	46,989	57,8	0,274	
	43		0,9	0,723	57,5	57,585	
	43		0,8	0,166	57,6	0,096	
	43		0,5	22,888	57,7	0,167	
	48		0,6	0,941	57,6	57,459	
	48		1,3	0,333	57,2	0,193	
	48		0,9	35,410	57,5	0,336	
	54		0,7	0,722	57,6	57,586	
	54		1,0	0,225	57,4	0,131	
	54	0,5	31,195	57,7	0,227		
	L ramos	33	1,9	1,851	56,9	56,931	
		33	1,5	0,324	57,1	0,188	
		33	2,2	17,484	56,7	0,330	
		38	1,6	1,620	57,1	57,065	
		38	1,6	0,003	57,1	0,002	
		38	1,6	0,216	57,1	0,004	
		44	1,3	1,111	57,3	57,360	
		44	1,0	0,159	57,4	0,092	
44		1,1	14,305	57,4	0,161		
49		2,7	2,673	56,4	56,454		
49		2,5	0,164	56,6	0,095		
49		2,8	6,135	56,4	0,169		
55		4,3	3,921	55,5	55,730		
55		3,4	0,459	56,0	0,266		
55		4,0	11,716	55,7	0,478		

(continuação do Quadro A.5)

F agulhas	34	26,7	25,365	42,5	43,291
	34	25,6	1,464	43,1	0,849
	34	23,8	5,771	44,2	1,961
	39	22,7	23,475	44,8	44,388
	39	24,2	0,742	44,0	0,430
	39	23,5	3,161	44,4	0,970
	45	18,6	19,039	47,2	46,961
	45	19,2	0,360	46,8	0,209
	45	19,3	1,889	46,8	0,444
	50	19,6	18,917	46,7	47,032
	50	18,8	0,582	47,1	0,338
	50	18,4	3,077	47,3	0,718
	56	29,0	28,196	41,2	41,650
	56	28,0	0,724	41,8	0,420
	56	27,6	2,569	42,0	1,009
F pinhas	40	3,7	3,624	55,9	55,902
	40	3,4	0,175	56,0	0,101
	40	3,8	4,818	55,8	0,181
	51	4,1	3,698	55,6	55,859
	51	3,2	0,415	56,1	0,241
	51	3,8	11,232	55,8	0,431
F ramos	35	2,7	2,898	56,4	56,323
	35	3,0	0,157	56,3	0,091
	35	3,0	5,417	56,3	0,162
	41	1,9	1,874	56,9	56,918
	41	2,0	0,212	56,8	0,123
	41	1,6	11,317	57,1	0,216
	46	1,4	1,436	57,2	57,172
	46	0,9	0,584	57,5	0,339
	46	2,0	40,694	56,8	0,593
	52	4,7	4,615	55,3	55,328
	52	4,7	0,146	55,3	0,085
	52	4,4	3,162	55,4	0,153
	58	3,6	3,627	55,9	55,901
	58	3,5	0,147	56,0	0,085
	58	3,8	4,045	55,8	0,152
H	122	68,4	68,590	18,3	18,219
	122	69,0	0,335	18,0	0,194
	122	68,4	0,488	18,3	1,066
	123	61,4	60,269	22,4	23,046
	123	60,5	1,219	22,9	0,707
	123	59,0	2,023	23,8	3,069
	124	56,8	57,257	25,0	24,793
	124	56,4	1,084	25,3	0,629
	124	58,5	1,893	24,1	2,535
	125	62,7	60,932	21,6	22,661
	125	60,8	1,698	22,7	0,985
	125	59,3	2,787	23,6	4,347
	126	68,7	69,013	18,2	17,974
	126	68,9	0,375	18,0	0,217
	126	69,4	0,543	17,7	1,209

Quadro A.6 - Teor em cinzas e concentração de C nos horizontes orgânicos sob *P. nigra*

Espécie	camada	amostra	Cinzas (%)	M/DP/CV	C (%)	M/DP/CV	
<i>P. nigra</i>	L agulhas	1	1,8	1,592	56,9	57,081	
		1	1,6	0,268	57,1	0,155	
		1	1,3	16,802	57,2	0,272	
		7	1,5	1,303	57,1	57,249	
		7	1,3	0,205	57,2	0,119	
		7	1,1	15,752	57,4	0,208	
		13	1,4	1,653	57,2	57,046	
		13	1,7	0,227	57,0	0,132	
		13	1,8	13,717	56,9	0,231	
		19	1,6	1,294	57,1	57,254	
		19	0,7	0,555	57,6	0,322	
		19	1,6	42,915	57,1	0,562	
		25	1,1	1,184	57,4	57,318	
		25	1,2	0,111	57,3	0,064	
		25	1,3	9,376	57,3	0,112	
		L pinhas	2	0,6	0,841	57,7	57,517
			2	1,0	0,252	57,4	0,146
			2	1,0	29,978	57,4	0,254
	8		1,3	0,734	57,2	57,579	
	8		0,1	0,607	57,9	0,352	
	8		0,8	82,804	57,6	0,612	
	14		0,7	0,580	57,6	57,668	
	14		0,3	0,223	57,8	0,129	
	14		0,8	38,470	57,6	0,224	
	20		0,4	0,795	57,8	57,543	
	20		1,1	0,330	57,4	0,191	
	20		0,9	41,494	57,5	0,333	
	26		0,1	0,108	57,9	57,942	
	26		0,1	0,001	57,9	0,000	
	26		0,1	0,595	57,9	0,001	
	L ramos	3	0,9	1,094	57,5	57,370	
		3	1,3	0,215	57,2	0,125	
		3	1,1	19,626	57,4	0,217	
		9	0,7	0,579	57,6	57,669	
		9	0,2	0,331	57,9	0,192	
		9	0,9	57,163	57,5	0,333	
		15	1,6	1,377	57,1	57,206	
		15	1,5	0,343	57,1	0,199	
		15	1,0	24,926	57,4	0,348	
		21	1,1	0,826	57,4	57,526	
		21	0,5	0,271	57,7	0,157	
		21	0,9	32,790	57,5	0,273	
27		0,2	0,611	57,9	57,650		
27		0,5	0,439	57,7	0,254		
27		1,1	71,805	57,4	0,441		

(continuação do Quadro A.6)

F agulhas	4	23,6	23,839	44,3	44,177
	4	23,2	0,817	44,5	0,474
	4	24,8	3,428	43,6	1,073
	10	26,6	27,827	42,6	41,864
	10	28,3	1,110	41,6	0,644
	10	28,7	3,989	41,4	1,538
	16	6,6	6,007	54,2	54,521
	16	5,3	0,641	54,9	0,372
	16	6,1	10,674	54,4	0,682
	22	37,7	36,046	36,1	37,096
	22	34,3	1,715	38,1	0,995
	22	36,2	4,759	37,0	2,682
	28	10,9	10,706	51,7	51,794
	28	10,6	0,174	51,9	0,101
	28	10,6	1,627	51,8	0,195
F pinhas	5	2,9	3,568	56,3	55,935
	5	4,1	0,618	55,7	0,359
	5	3,8	17,329	55,8	0,641
	11	3,3	3,070	56,1	56,224
	11	3,0	0,196	56,3	0,114
	11	2,9	6,390	56,3	0,202
	17	2,8	2,625	56,4	56,482
	17	2,6	0,155	56,5	0,090
	17	2,5	5,917	56,6	0,159
	23	3,5	3,355	56,0	56,059
	23	2,7	0,608	56,4	0,352
	23	3,9	18,110	55,8	0,629
	29	1,1	1,162	57,4	57,331
	29	1,4	0,224	57,2	0,130
	29	1,0	19,294	57,4	0,227
F ramos	6	3,0	3,135	56,2	56,186
	6	3,7	0,496	55,9	0,288
	6	2,7	15,831	56,4	0,512
	12	3,1	3,061	56,2	56,229
	12	3,1	0,008	56,2	0,004
	12	3,1	0,253	56,2	0,008
	18	3,5	3,330	56,0	56,073
	18	3,3	0,122	56,1	0,071
	18	3,3	3,673	56,1	0,126
	24	2,2	1,799	56,8	56,961
	24	1,8	0,376	56,9	0,218
	24	1,4	20,911	57,2	0,383
	30	1,6	1,036	57,1	57,404
	30	1,1	0,580	57,4	0,336
	30	0,4	55,997	57,7	0,586

(continuação do Quadro A.6)

H	117	58,1	57,776	24,3	24,492
	117	57,6	0,324	24,6	0,188
	117	57,6	0,561	24,6	0,768
	118	57,8	58,194	24,5	24,250
	118	58,7	0,453	24,0	0,263
	118	58,1	0,779	24,3	1,084
	119	57,4	56,680	24,7	25,127
	119	56,4	0,635	25,3	0,368
	119	56,3	1,120	25,4	1,465
	120	74,1	74,059	15,0	15,047
	120	73,4	0,591	15,4	0,343
	120	74,6	0,798	14,7	2,277
	121	43,7	43,125	32,7	32,990
	121	42,8	0,506	33,2	0,293
	121	42,9	1,173	33,1	0,889

Quadro A.7 - Teor em cinzas e concentração de C nos horizontes orgânicos sob *P. menziesii*

Espécie	camada	amostra	Cinzas (%)	M/DP/CV	C (%)	M/DP/CV	
<i>P. menziesii</i>	L agulhas	59	12,7	12,464	50,6	50,775	
		59	12,2	0,240	50,9	0,139	
		59	12,5	1,929	50,8	0,275	
		65	11,4	11,802	51,4	51,159	
		65	12,6	0,674	50,7	0,391	
		65	11,5	5,713	51,4	0,764	
		71	7,0	7,212	54,0	53,821	
		71	7,7	0,466	53,5	0,270	
		71	6,9	6,455	54,0	0,502	
		77	6,3	6,456	54,4	54,260	
		77	6,5	0,139	54,2	0,081	
		77	6,5	2,159	54,2	0,149	
		82	8,5	8,920	53,1	52,831	
		82	9,2	0,366	52,7	0,212	
		82	9,0	4,104	52,8	0,402	
		L pinhas	60	5,7	5,416	54,7	54,863
			60	5,2	0,252	55,0	0,146
			60	5,4	4,646	54,9	0,266
	66		1,7	1,464	57,0	57,155	
	66		1,6	0,338	57,1	0,196	
	66		1,1	23,097	57,4	0,343	
	72		6,2	6,277	54,4	54,363	
	72		6,3	0,097	54,3	0,056	
	78		1,7	1,928	57,0	56,886	
	78		1,9	0,227	56,9	0,132	
	78		2,2	11,782	56,7	0,232	
	83		1,4	1,957	57,2	56,869	
	83		2,8	0,743	56,4	0,431	
	83		1,6	37,959	57,1	0,758	
	L ramos		61	1,6	0,991	57,1	57,430
		61	0,2	0,707	57,9	0,410	
		61	1,2	71,361	57,3	0,714	
		67	1,5	1,455	57,1	57,161	
		67	1,9	0,475	56,9	0,275	
		67	1,0	32,649	57,4	0,482	
		73	1,8	1,854	57,0	56,929	
		73	1,9	0,065	56,9	0,038	
		73	1,8	3,521	57,0	0,067	
		79	1,6	1,790	57,1	56,966	
		79	1,8	0,186	57,0	0,108	
		79	2,0	10,419	56,9	0,190	
		84	2,1	1,842	56,8	56,936	
84		1,5	0,323	57,1	0,187		
84		1,9	17,545	56,9	0,329		

(continuação do Quadro A.7)

F agulhas	62	37,3	36,207	36,4	37,003
	62	35,7	0,976	37,3	0,566
	62	35,6	2,696	37,4	1,530
	68	44,9	43,347	31,9	32,862
	68	42,9	1,421	33,1	0,824
	68	42,2	3,278	33,5	2,508
	74	47,7	48,652	30,3	29,784
	74	48,2	1,238	30,0	0,718
	74	50,1	2,545	29,0	2,411
	80	34,6	34,761	37,9	37,842
	80	34,3	0,534	38,1	0,310
	80	35,3	1,536	37,5	0,819
	85	41,8	40,798	33,8	34,340
	85	41,6	1,559	33,9	0,904
	85	39,0	3,821	35,4	2,633
F pinhas	63	12,2	10,847	50,9	51,713
	63	10,0	1,169	52,2	0,678
	63	10,3	10,773	52,0	1,311
	69	4,7	4,256	55,3	55,536
	69	4,0	0,408	55,7	0,237
	69	4,1	9,586	55,6	0,426
	75	4,9	4,476	55,2	55,408
75	4,1	0,587	55,6	0,340	
F ramos	64	4,9	5,014	55,2	55,096
	64	5,1	0,142	55,0	0,083
	64	5,0	2,841	55,1	0,150
	70	3,3	3,296	56,1	56,093
	70	3,1	0,200	56,2	0,116
	70	3,5	6,080	56,0	0,207
	76	2,7	2,801	56,5	56,380
	76	2,4	0,492	56,6	0,286
	76	3,3	17,573	56,1	0,506
	81	3,6	3,646	55,9	55,890
	81	3,3	0,342	56,1	0,198
	81	4,0	9,384	55,7	0,355
	86	0,9	1,234	57,5	57,289
86	1,6	0,533	57,1	0,309	
H	127	70,5	70,218	17,1	17,275
	127	70,2	0,312	17,3	0,181
	127	69,9	0,445	17,5	1,049
	128	76,6	76,351	13,5	13,718
	128	76,1	0,281	13,9	0,163
	128	76,3	0,368	13,7	1,188
	129	76,4	75,956	13,7	13,947
	129	76,1	0,477	13,9	0,277
	129	75,4	0,629	14,2	1,986
	130	75,2	75,500	14,4	14,211
	130	75,7	0,301	14,1	0,175
	130	75,7	0,399	14,1	1,230
	131	76,1	77,817	13,9	12,867
	131	79,6	1,763	11,8	1,022
	131	77,8	2,265	12,9	7,945

Quadro A. 8 - Teor em cinzas e concentração de C nos horizontes orgânicos sob *C. sativa*

Espécie	camada	amostra	Cinzas (%)	M/DP/CV	C (%)	M/DP/CV	
<i>C. sativa</i>	L folhas	87	3,8	3,700	55,8	55,858	
		87	3,5	0,202	56,0	0,117	
		87	3,8	5,470	55,8	0,210	
		93	2,8	3,240	56,4	56,125	
		93	3,7	0,421	55,9	0,244	
		93	3,2	13,009	56,1	0,436	
		99	3,7	3,701	55,8	55,858	
		99	3,8	0,103	55,8	0,060	
		99	3,6	2,795	55,9	0,107	
		105	2,8	2,810	56,4	56,375	
		105	2,9	0,117	56,3	0,068	
		105	2,7	4,173	56,4	0,121	
		111	4,2	4,073	55,6	55,642	
		111	4,1	0,150	55,6	0,087	
		111	3,9	3,689	55,7	0,157	
		L ouriços	88	2,3	2,143	56,7	56,761
			88	2,0	0,222	56,9	0,129
			94	2,2		56,7	
	100		2,8	13,470	56,4	50,191	
	100		24,2	15,156	44,0	8,791	
	106		3,2	2,728	56,2	56,422	
	106		2,3	0,437	56,7	0,253	
	106		2,7	16,006	56,4	0,449	
	L ramos	112	2,3		56,7		
		89	2,0	2,219	56,9	56,717	
		89	2,3	0,232	56,7	0,134	
		89	2,4	10,439	56,6	0,237	
		95	1,3	1,619	57,2	57,065	
		95	2,0	0,380	56,8	0,221	
		95	1,5	23,498	57,1	0,387	
		101	3,0	2,892	56,3	56,327	
		101	3,2	0,332	56,2	0,193	
		101	2,5	11,489	56,5	0,342	
	107	1,9	1,555	56,9	57,102		
	107	1,4	0,259	57,2	0,150		
	107	1,4	16,620	57,2	0,263		
113	1,3	1,172	57,3	57,325			
113	1,6	0,540	57,1	0,313			
113	0,6	46,031	57,7	0,546			

(continuação do Quadro A. 8)

F folhas	90	34,9	33,888	37,8	38,348
	90	33,4	0,839	38,6	0,487
	90	33,4	2,477	38,6	1,270
	96	43,2	43,899	33,0	32,541
	96	44,3	0,615	32,3	0,357
	96	44,2	1,400	32,3	1,096
	102	36,0	35,714	37,1	37,289
	102	35,6	0,304	37,3	0,176
	102	35,4	0,852	37,4	0,473
	108	38,4	37,862	35,8	36,043
	108	37,9	0,499	36,0	0,289
	108	37,4	1,317	36,3	0,803
	114	36,0	34,057	37,1	38,250
	114	33,0	1,688	38,9	0,979
	114	33,2	4,956	38,8	2,560
F ouriços	91	21,1		45,8	
	97	8,0	8,011	53,4	53,358
	97	8,0	0,022	53,3	0,012
	103	5,3	6,284	54,9	54,359
	103	7,3	1,378	53,8	0,799
	109	6,8	6,711	54,1	54,112
	109	6,6	0,091	54,2	0,053
	109	6,7	1,363	54,1	0,098
	115	9,8	10,080	52,3	52,158
	115	10,5	0,353	51,9	0,205
115	9,9	3,499	52,2	0,392	
F ramos	92	4,2	5,144	55,5	55,021
	92	4,4	1,458	55,5	0,846
	92	6,8	28,344	54,0	1,537
	98	4,5	4,852	55,4	55,190
	98	4,6	0,486	55,3	0,282
	98	5,4	10,020	54,9	0,511
	104	4,4	3,936	55,4	55,721
	104	3,5	0,462	56,0	0,268
	104	3,9	11,732	55,7	0,481
	110	4,8	4,765	55,2	55,241
	110	4,8	0,011	55,2	0,006
	110	4,8	0,226	55,2	0,011
	116	4,3	3,998	55,5	55,686
	116	4,6	0,811	55,4	0,471
	116	3,1	20,294	56,2	0,845

(continuação do Quadro A.8)

H	132	79,3	79,043	12,0	12,156
	132	78,7	0,352	12,4	0,204
	132	79,1	0,446	12,1	1,681
	133	76,4	75,826	13,7	14,022
	133	75,9	0,633	14,0	0,367
	133	75,2	0,835	14,4	2,619
	134	69,6	69,644	17,6	17,608
	134	69,7	0,058	17,6	0,033
	134	69,6	0,083	17,6	0,190
	135	71,5	70,984	16,5	16,831
	135	70,2	0,674	17,3	0,391
	135	71,2	0,950	16,7	2,323
	136	72,3	72,186	16,0	16,133
	136	72,3	0,224	16,1	0,130
	136	71,9	0,310	16,3	0,804

Quadro A.9 - Concentração em elementos minerais no material orgânico da espécie *P. pinaster*

Espécie	Camada	Amostra	N s/cinz (%)	P s/cinz (%)	K s/cinz (%)	Ca s/cinz (%)	Mg s/cinz (%)	S s/cinz (%)
<i>P. pinaster</i>	L agulhas	31	0,59	0,62	0,04	0,15	0,10	0,08
		36	0,57	0,26	0,03	0,13	0,10	0,07
		42	0,51	0,31	0,03	0,13	0,11	0,09
		47	0,54	0,48	0,03	0,13	0,09	0,06
		53	0,53	0,53	0,03	0,12	0,08	0,08
	L pinhas	32	1,36	0,17	0,12	0,12	0,33	0,22
		37	0,49	0,05	0,03	0,04	0,06	0,04
		43	0,45	0,05	0,03	0,03	0,06	0,03
		48	0,68	0,07	0,03	0,10	0,14	0,07
		54	0,81	0,10	0,06	0,08	0,17	0,06
	L ramos	33	0,40	0,35	0,02	0,08	0,06	0,04
		38	0,38	0,23	0,02	0,07	0,06	0,04
		44	0,44	0,27	0,02	0,08	0,06	0,03
		49	0,43	0,71	0,02	0,11	0,07	0,05
		55	1,15	0,82	0,08	0,08	0,07	0,03
	F agulhas	34	1,61	0,54	0,10	0,21	0,30	0,19
		39	1,45	0,21	0,09	0,17	0,32	0,22
		45	1,65	0,28	0,10	0,18	0,28	0,22
		50	1,71	0,48	0,10	0,19	0,24	0,22
		56	0,56	0,51	0,03	0,21	0,30	0,17
	F pinhas	40	1,40	0,10	0,07	0,07	0,11	0,19
		51	0,69	0,14	0,05	0,07	0,10	0,06
		54	0,53	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
	F ramos	35	0,53	0,41	0,41	0,07	0,07	0,05
		41	0,50	0,16	0,16	0,06	0,06	0,05
		46	0,56	0,22	0,22	0,08	0,10	0,04
		52	0,60	0,56	0,56	0,12	0,08	0,06
		58	0,53	0,44	0,44	0,08	0,06	0,04
	H	122	0,84	0,35	0,05	0,60	1,12	0,13
		123	1,60	0,14	0,13	0,54	1,12	0,19
		124	1,69	0,23	0,12	0,54	0,97	0,17
		125	0,98	0,42	0,05	0,60	0,99	0,17
		126	0,90	0,43	0,07	0,65	1,04	0,16

Quadro A.10 - Concentração em elementos minerais no material orgânico da espécie *P. nigra*

Espécie	Camada	Amostra	N s/cinz (%)	P s/cinz (%)	K s/cinz (%)	Ca s/cinz (%)	Mg s/cinz (%)	S s/cinz (%)
<i>P. nigra</i>	L agulhas	1	1,58	0,03	0,09	0,27	0,07	0,05
		7	0,60	0,03	0,09	0,24	0,07	0,07
		13	0,52	0,03	0,07	0,23	0,06	0,06
		19	0,64	0,04	0,10	0,18	0,06	0,06
		25	0,63	0,04	0,11	0,24	0,08	0,09
	L pinhas	2	1,25	0,01	0,11	0,05	0,04	0,01
		8	0,37	0,02	0,10	0,07	0,04	0,03
		14	0,28	0,02	0,08	0,04	0,03	0,05
		20	0,28	0,02	0,10	0,03	0,03	0,02
		26	0,26	0,02	0,09	0,06	0,04	0,02
	L ramos	3	0,33	0,03	0,03	0,19	0,04	0,02
		9	0,27	0,01	0,02	0,16	0,02	0,01
		15	0,39	0,02	0,04	0,20	0,04	0,02
		21	0,36	0,02	0,03	0,08	0,03	0,04
		27	0,29	0,01	0,03	0,15	0,04	0,03
	F agulhas	4	1,26	0,08	0,27	0,21	0,13	0,15
		10	1,34	0,08	0,38	0,19	0,16	0,19
		16	1,37	0,10	0,39	0,17	0,12	0,18
		22	1,14	0,08	0,45	0,11	0,16	0,19
		28	1,55	0,10	0,23	0,19	0,09	0,22
	F pinhas	5	0,58	0,04	0,09	0,13	0,05	0,07
		11	0,64	0,04	0,07	0,11	0,04	0,05
		17	0,53	0,03	0,08	0,11	0,04	0,06
		23	0,49	0,03	0,07	0,08	0,04	0,03
		29	0,46	0,03	0,06	0,10	0,04	0,07
	F ramos	6	0,38	0,02	0,05	0,16	0,04	0,04
		12	0,51	0,03	0,05	0,15	0,04	0,05
		18	0,58	0,03	0,07	0,18	0,04	0,06
		24	0,37	0,02	0,04	0,10	0,03	0,03
		30	0,39	0,12	0,02	0,03	0,05	0,03
	H	117	1,52	0,12	0,14	0,67	1,39	0,23
		118	1,59	0,11	0,12	0,52	1,33	0,22
		119	1,67	0,10	0,14	0,43	1,21	0,21
		120	0,88	0,09	0,08	0,48	1,57	0,16
		121	1,59	0,14	0,11	0,29	1,00	0,28

adro A.11 - Concentração em elementos minerais no material orgânico da espécie *P. menziesii*

Espécie	Camada	Amostra	N s/cinz (%)	P s/cinz (%)	K s/cinz (%)	Ca s/cinz (%)	Mg s/cinz (%)	S s/cinz (%)
<i>P. menziesii</i>	L agulhas	59	1,67	0,62	0,13	0,17	0,24	0,19
		65	1,42	0,95	0,09	0,15	0,28	0,17
		71	1,60	0,63	0,11	0,15	0,31	0,15
		77	1,27	0,95	0,09	0,16	0,26	0,15
		82	1,20	1,06	0,10	0,15	0,22	0,13
	L pinhas	60	0,75	0,28	0,05	0,10	0,13	0,09
		66	0,50	0,18	0,03	0,07	0,11	0,07
		72	0,32	0,21	0,02	0,12	0,23	0,08
		78	0,56	0,19	0,04	0,11	0,16	0,05
		83	0,53	0,23	0,04	0,09	0,09	0,05
	L ramos	61	0,42	0,30	0,03	0,05	0,05	0,03
		67	0,54	0,44	0,04	0,05	0,09	0,02
		73	0,48	0,35	0,04	0,07	0,17	0,06
		79	0,53	0,48	0,04	0,07	0,11	0,03
		84	0,50	0,55	0,04	0,06	0,06	0,04
	F agulhas	62	1,96	0,73	0,15	0,21	0,29	0,19
		68	1,99	1,32	0,14	0,51	0,76	0,28
		74	1,03	0,73	0,08	0,51	0,96	0,29
		80	2,35	1,32	0,17	0,52	0,71	0,31
		85	1,94	1,24	0,16	0,51	0,76	0,24
	F pinhas	63	0,82	0,43	0,06	0,12	0,16	0,10
		69	0,53	0,36	0,03	0,08	0,16	0,07
		75	0,90	0,28	0,06	0,12	0,22	0,10
	F ramos	64	0,72	0,48	0,05	0,08	0,09	0,07
		70	0,52	0,60	0,03	0,07	0,09	0,05
		76	0,83	0,52	0,06	0,09	0,16	0,09
		81	0,73	0,57	0,05	0,08	0,13	0,04
		86	0,37	0,34	0,03	0,06	0,05	0,02
	H	127	1,89	0,66	0,18	1,37	2,13	0,36
		128	2,26	1,69	0,23	1,47	2,25	0,29
		129	2,38	0,68	0,25	1,37	1,99	0,26
		130	1,65	1,17	0,16	1,47	3,15	0,29
		131	1,41	1,01	0,16	1,61	3,10	0,31

Quadro A.12 - Concentração em elementos minerais no material orgânico da espécie *C. sativa*

Espécie	Camada	Amostra	N s/cinz (%)	P s/cinz (%)	K s/cinz (%)	Ca s/cinz (%)	Mg s/cinz (%)	S s/cinz (%)
<i>C. sativa</i>	L folhas	87	1,45	0,59	0,09	0,25	0,14	0,15
		93	1,52	0,44	0,13	0,23	0,14	0,15
		99	1,49	0,61	0,13	0,23	0,13	0,12
		105	1,60	0,45	0,13	0,21	0,15	0,11
		111	1,49	0,71	0,14	0,27	0,15	0,11
	L ouriços	88	1,31	0,31	0,11	0,18	0,15	0,10
		94	1,29	0,24	0,11	0,20	0,12	0,09
		100	1,13	0,45	0,10	0,18	0,12	0,09
		106	1,42	0,25	0,11	0,16	0,12	0,08
		112	1,37	0,38	0,12	0,20	0,13	0,09
	L ramos	89	0,99	0,54	0,06	0,13	0,07	0,04
		95	0,93	0,40	0,06	0,10	0,09	0,03
		101	1,07	0,67	0,07	0,14	0,07	0,08
		107	0,66	0,31	0,04	0,08	0,04	0,02
		113	0,64	0,41	0,05	0,10	0,06	0,03
	F folhas	90	2,03	0,58	0,14	0,45	0,51	0,22
		96	2,11	0,43	0,17	0,45	0,49	0,21
		102	2,35	0,65	0,21	0,45	0,48	0,25
		108	2,29	0,41	0,19	0,41	0,06	0,25
		114	2,61	0,80	0,21	0,48	0,47	0,24
	F ouriços	91	1,69	0,44	0,14	0,36	0,46	0,16
		97	1,53	0,41	0,13	0,25	0,20	0,18
		103	1,65	0,57	0,12	0,27	0,16	0,13
		109	1,84	0,38	0,14	0,25	0,15	0,11
		115	1,62	0,53	0,13	0,29	0,19	0,12
	F ramos	92	0,98	0,35	0,06	0,11	0,08	0,06
		98	1,02	0,33	0,06	0,11	0,09	0,07
		104	1,35	0,64	0,09	0,15	0,09	0,07
		110	0,96	0,40	0,06	0,12	0,10	0,07
		116	1,42	0,61	0,08	0,15	0,09	0,10
	H	132	2,31	0,30	0,31	1,28	1,93	0,24
		133	1,32	0,35	0,16	1,13	1,83	0,25
		134	3,17	0,56	0,46	1,13	1,88	0,37
		135	2,46	0,35	0,30	1,21	2,05	0,31
		136	2,12	0,82	0,34	1,28	2,06	0,33

Quadro A.13 - Valores relativos às propriedades dos solos sob as espécies *P. pinaster* e *P. nigra*

Espécie	Perfil	prof (cm)	MO (%)	C (%)	N (tot %)	P2O5 mg kg ⁻¹	K2O	pH (H2O)	Bases troca (cmol kg ⁻¹)					Ac tr (cmolkg ⁻¹)			CTC _e cmol kg ⁻¹	CTC _p	GSA (%)	GSB (%)	EI Gr (%)	AG (%)	AF (%)	Limo (%)	Argila (%)
									Ca	Mg	K	Na	SBT	total	Al	H									
<i>P. pinaster</i>	10	0-10	6,83	3,96	0,289	63,0	100	4,9	0,040	0,214	0,620	0,160	1,034	2,24	1,33	0,91	3,27	2,874	68,4	36,0	49,4	30,6	34,9	15,0	19,5
		10_20	4,76	2,76	0,247	13,0	64	4,9	0,080	0,135	0,260	0,129	0,604	1,52	0,84	0,68	2,12	7,509	71,6	8,0	42,8	30,6	29,0	19,4	21,1
		25_35	2,22	1,29	0,112	12,0	40	5,0	0,120	0,076	0,143	0,080	0,419	1,52	0,86	0,66	1,94	6,582	78,4	6,4	37,0	35,2	34,4	15,5	14,8
		40_60	1,42	0,82	0,032	7,0	36	4,9	0,120	0,138	0,071	0,062	0,391	2,47	1,44	1,03	2,86	4,450	86,3	8,8	28,1	36,2	33,4	15,9	14,5
	11	0-10	3,41	1,98	0,139	9,0	56	4,9	0,140	0,095	0,161	0,111	0,507	1,94	1,03	0,91	2,45	7,880	79,3	6,4	42,3	49,6	11,6	16,3	22,5
		10_20	2,74	1,59	0,107	4,0	46	5,0	0,140	0,089	0,092	0,104	0,425	2,13	1,23	0,90	2,56	6,120	83,4	6,9	4,1	30,2	43,9	6,7	19,2
		25_40	1,60	0,93	0,074	6,0	36	5,1	0,160	0,046	0,082	0,104	0,392	1,06	0,78	0,28	1,45	3,340	73,0	11,7	56,6	46,7	36,6	4,2	12,6
		50_80	0,41	0,24	0,017	8,0	30	5,0	0,120	0,053	0,049	0,063	0,285	2,62	1,50	1,12	2,91	1,391	90,2	20,5	50,5	45,1	32,6	14,0	8,3
	12	0-10	2,33	1,35	0,072	7,0	64	4,7	0,160	0,211	0,108	0,035	0,514	2,62	1,52	1,10	3,13	3,990	83,6	12,9	39,8	40,0	34,3	15,1	10,7
		10_20	1,29	0,75	0,048	4,0	58	4,8	0,200	0,148	0,102	0,028	0,478	2,43	1,41	1,02	2,91	8,440	83,6	5,7	41,3	61,5	6,2	19,6	12,8
		20_40	0,57	0,33	0,024	5,0	40	4,9	0,100	0,115	0,139	0,014	0,368	2,58	1,50	1,08	2,95	2,874	87,5	12,8	42,7	12,7	47,8	25,4	14,2
		50_80	0,34	0,20	0,007	9,0	36	4,8	0,120	0,083	0,108	0,014	0,325	1,90	1,07	0,83	2,23	6,120	85,4	5,3	50,0	65,5	5,4	20,1	9,0
	13	0-10	1,91	1,11	0,085	3,0	60	4,9	0,160	0,145	0,164	0,028	0,497	1,60	1,00	0,60	2,10	6,211	76,3	8,0	39,5	41,1	28,2	19,6	11,1
		10_25	1,29	0,58	0,042	5,0	50	5,0	0,160	0,102	0,135	0,028	0,425	1,18	0,82	0,36	1,61	5,655	73,5	7,5	37,3	62,1	14,4	15,5	8,0
		30_50	0,78	0,45	0,032	4,0	38	5,0	0,100	0,069	0,094	0,038	0,301	0,87	0,66	0,21	1,17	7,231	74,3	4,2	35,9	69,1	14,9	10,8	5,3
		50_80	0,52	0,30	0,023	4,0	30	5,1	0,120	0,079	0,096	0,042	0,337	1,06	0,74	0,32	1,40	3,708	75,9	9,1	43,4	42,0	28,2	19,5	10,4
<i>P. nigra</i>	14	0-10	7,45	4,32	0,318	21,0	160	4,8	0,419	0,181	0,286	0,080	0,966	7,31	3,51	3,80	8,28	16,509	88,3	5,9	41,8	26,6	33,9	19,4	20,1
		10_20	4,81	2,79	0,183	6,0	80	4,8	0,160	0,086	0,153	0,104	0,503	5,38	2,73	2,65	5,88	11,680	91,4	4,3	30,1	24,3	45,4	15,0	15,3
		25_45	1,06	0,61	0,056	5,0	82	4,9	0,200	0,079	0,110	0,045	0,434	4,82	2,36	2,46	5,25	7,510	91,7	5,8	22,1	33,2	26,9	20,0	19,8
		50_70	0,44	0,26	0,038	2,0	86	4,8	0,240	0,099	0,108	0,014	0,461	6,75	3,34	3,41	7,21	7,601	93,6	6,1	22,6	43,3	30,7	17,0	8,9
	15	0-8	6,62	3,78	0,244	3,0	100	4,6	0,120	0,178	0,348	0,017	0,663	5,85	2,75	3,10	6,51	15,481	89,8	4,3	33,1	27,7	35,8	20,9	15,7
		8_16	5,17	2,10	0,158	2,0	80	4,7	0,080	0,086	0,205	0,021	0,392	6,06	2,83	3,23	6,45	11,217	93,9	3,5	38,4	20,8	58,2	10,9	10,1
		16_35	2,97	1,72	0,126	4,0	60	4,9	0,080	0,072	0,182	0,028	0,362	3,87	1,85	2,02	4,23	8,250	91,4	4,4	36,6	25,5	42,2	19,9	12,4
		35_55	1,94	1,13	0,086	1,0	64	5,0	0,100	0,063	0,215	0,014	0,392	3,05	1,70	1,35	3,44	8,992	88,6	4,4	51,7	22,9	47,7	16,6	12,8
		55_70	1,76	1,02	0,070	0,0	66	4,9	0,120	0,049	0,174	0,014	0,357	4,04	2,73	1,31	4,40	6,582	91,9	5,4	63,4	30,8	37,4	19,0	12,9
	16	0-7	6,57	3,81	0,303	6,0	86	4,8	0,180	0,099	0,248	0,035	0,562	4,64	2,87	1,77	5,20	4,728	89,2	11,9	26,7	25,8	35,3	18,6	20,2
		7_20	6,47	3,75	0,258	4,0	48	4,8	0,100	0,072	0,145	0,056	0,373	4,21	2,83	1,38	4,58	14,554	91,9	2,6	34,8	31,1	32,9	17,9	18,2
		20_40	4,71	2,73	0,166	3,0	52	4,9	0,120	0,066	0,123	0,059	0,368	3,78	2,54	1,24	4,15	10,570	91,1	3,5	52,6	25,4	34,8	12,7	27,0
		45_65	1,40	0,81	0,058	5,0	44	4,8	0,160	0,072	0,102	0,042	0,376	4,43	3,10	1,33	4,81	8,440	92,2	4,5	61,9	36,0	26,3	19,8	18,0
	17	0-7	7,50	4,35	0,309	6,0	90	4,7	0,200	0,109	0,266	0,021	0,596	6,49	3,73	2,76	7,09	17,891	91,6	3,3	26,6	20,7	31,8	23,8	23,6
		7_22	7,34	4,26	0,209	5,0	80	4,6	0,120	0,105	0,307	0,073	0,605	5,76	2,75	3,01	6,37	14,925	90,5	4,1	29,5	25,2	35,3	16,0	23,4
		32_50	2,87	1,66	0,114	1,0	56	4,9	0,080	0,065	0,147	0,035	0,327	2,88	1,93	0,95	3,21	7,972	89,8	4,1	51,4	39,7	28,6	11,4	20,3
			0,59	0,34	0,045	0,0	50	5,1	0,180	0,112	0,153	0,052	0,497	3,96	2,60	1,36	4,46	8,436	88,8	5,9	63,3	34,4	38,2	11,1	16,3
		65_85	0,59	0,34		0,0	50	5,1	0,180	0,112	0,153	0,052	0,050	3,96	2,60	1,36	4,01	8,436	98,8	5,9	63,3	34,4	38,2	11,1	16,3

Quadro A.15 - Material agregado no horizonte Ah1 sob as quatro espécies

Espécie	horz	p. tot seco (g)	4 mm agr (%)	2 mm agr (%)	1 mm agr (%)	0,5 mm agr (%)	0,2 mm agr (%)	Total agr (%)
<i>P. pinaster</i>	Ah1	117,6	5,9	7,6	7,1	6,4	5,0	32,0
		117,6	7,7	7,2	6,9	5,6	4,0	31,3
		116,6	5,0	5,9	6,9	5,7	5,9	29,4
		116,6	5,4	5,9	6,9	5,8	5,0	29,1
		117,9	6,1	6,7	7,4	7,6	5,5	33,2
		117,9	6,2	7,1	7,0	5,6	4,8	30,7
		118,1	8,6	6,7	5,8	4,4	3,4	28,9
		118,1	7,0	5,9	6,2	4,9	3,9	27,9
		118,1	7,1	7,3	7,5	5,2	4,4	31,4
		118,1	8,0	10,0	8,0	5,3	4,1	35,3
<i>P. nigra</i>	Ah1	117,1	6,3	6,7	6,5	6,2	6,5	32,3
		117,0	12,2	6,1	6,3	5,2	5,8	35,5
		117,0	10,2	6,0	5,3	6,3	5,9	33,7
		117,0	13,6	6,6	6,2	6,1	5,6	38,0
		117,1	8,3	5,6	7,8	6,9	2,0	30,6
		117,1	7,1	4,6	7,7	7,3	6,9	33,6
		117,3	5,7	6,0	7,2	7,2	7,5	33,6
		117,2	3,8	6,0	6,2	7,8	7,9	31,8
		117,3	6,3	6,3	5,9	6,7	7,1	32,2
		117,1	7,7	4,9	7,1	8,3	8,1	36,2
<i>P. menziesii</i>	Ah1	117,6	5,3	5,7	5,9	5,9	7,0	29,7
		116,9	5,7	2,4	4,2	6,0	6,6	24,9
		116,9	5,8	5,3	6,8	7,7	5,2	30,8
		117,6	6,4	5,0	6,7	5,5	5,3	28,9
		117,6	5,1	2,9	6,4	5,0	5,5	24,9
		117,1	5,4	5,2	6,4	5,0	5,7	27,7
		117,4	5,4	2,8	4,9	4,4	5,4	22,9
		117,2	3,5	4,5	7,0	6,4	7,4	28,9
		117,3	5,5	5,4	5,7	4,7	7,7	28,9
		117,4	5,5	4,6	4,3	5,1	6,4	25,9
<i>C. sativa</i>	Ah1	117,3	5,5	6,0	6,5	6,8	6,9	31,7
		116,7	8,9	5,2	6,7	8,0	6,9	35,6
		117,9	7,9	5,6	6,9	4,8	5,1	30,3
		116,7	6,6	6,8	8,2	7,7	6,2	35,4
		116,7	7,2	5,2	6,6	7,0	7,1	33,1
		117,5	9,9	5,7	5,7	6,9	7,2	35,6
		116,7	9,3	5,6	7,1	8,7	7,4	38,0
		117,3	3,0	5,0	7,3	7,0	7,9	30,3
		117,9	9,9	5,7	7,2	4,9	5,5	33,1
		116,7	9,2	5,4	8,4	8,2	7,3	38,5

Quadro A.16 - Material agregado no horizonte Ah2 sob as quatro espécies

Espécie	horz	p. tot seco (g)	4 mm agr (%)	2 mm agr (%)	1 mm agr (%)	0,5 mm agr (%)	0,2 mm agr(%)	Total agr (%)
<i>P. pinaster</i>	Ah2	117,4	3,6	3,0	3,1	2,8	2,4	14,8
		117,4	2,9	2,3	3,2	3,1	2,7	14,3
		117,4	3,4	3,1	3,0	2,7	3,1	15,3
		117,3	8,2	3,4	4,7	2,5	2,5	21,1
		117,3	3,3	3,0	3,9	2,3	2,5	15,0
		117,1	1,7	1,7	3,1	4,5	6,3	17,4
		117,1	2,2	2,5	4,0	5,2	4,4	18,2
		117,1	2,6	2,3	4,3	5,7	4,5	19,4
		118,0	3,0	5,7	5,4	4,3	3,6	22,1
		118,5	4,5	3,8	4,0	3,6	4,1	20,0
<i>P. nigra</i>	Ah2	117,1	7,7	2,7	4,8	5,2	5,0	25,3
		117,1	1,3	3,5	4,5	4,9	5,0	19,3
		117,1	3,0	4,0	5,2	5,8	4,9	22,8
		117,2	2,4	3,7	6,5	6,2	7,3	26,1
		117,2	4,0	4,8	5,8	5,7	6,2	26,5
		116,8	1,6	2,9	4,6	4,0	4,8	17,8
		116,8	2,9	3,0	4,4	5,1	4,7	20,0
		116,8	3,2	2,7	4,1	4,9	4,1	19,0
		117,3	2,3	3,8	4,6	4,5	4,9	20,0
		117,3	3,3	3,2	5,7	6,1	6,6	24,9
<i>P. menziesii</i>	Ah2	117,4	1,0	1,9	4,1	4,6	4,4	16,0
		117,4	1,4	2,3	5,1	4,6	4,7	18,1
		117,4	1,1	2,8	4,8	5,5	4,2	18,3
		116,9	3,5	4,5	5,5	5,7	5,7	24,9
		116,9	3,7	4,8	5,8	5,9	4,9	25,2
		116,9	3,0	4,0	5,6	4,9	4,7	22,2
		117,1	2,9	1,9	3,3	4,4	4,9	17,5
		117,1	1,0	2,0	3,5	3,8	4,5	14,9
		117,2	2,6	3,5	6,2	5,6	4,2	22,3
		117,0	5,2	4,5	5,6	5,1	5,4	25,7
<i>C. sativa</i>	Ah2	117,3	1,7	3,3	4,3	7,9	5,0	22,3
		117,3	2,6	3,1	5,1	4,7	5,3	20,8
		117,5	4,0	3,1	5,3	5,2	4,9	22,4
		117,5	2,2	3,5	4,9	4,8	6,0	21,4
		117,4	1,9	2,6	3,4	4,6	5,3	17,9
		117,3	3,7	2,3	3,9	3,6	5,3	18,8
		117,3	3,0	3,3	3,9	4,7	5,6	20,5
		117,3	2,7	2,6	4,9	6,1	6,1	22,3
		117,6	4,2	4,8	5,7	4,7	4,4	23,8
		117,6	2,5	2,9	4,2	3,9	3,9	17,4

Quadro A.17 - Valores de densidade aparente no horizonte Ah1 sob as quatro espécies

Espécie	Elgros (g)	Elgros (Vol)	Tfina (g)	Tfina (Vol)	dapt	M/DP/CV	dapf	M/DP/CV
<i>P. pinaster</i>	160,7	65,0	250,9	315,0	1,08		0,80	
	109,1	46,0	251,2	334,0	0,95		0,75	
	196,5	85,0	218,8	295,0	1,09		0,74	
	170,9	67,5	219,0	312,5	1,03		0,70	
	102,6	45,0	217,8	335,0	0,84		0,65	
	187,5	75,0	223,9	305,0	1,08		0,73	
	222,4	95,0	209,5	285,0	1,14		0,74	
	156,7	64,0	247,9	316,0	1,06	1,11	0,78	0,79
	206,0	82,5	295,3	297,5	1,32	0,18	0,99	0,13
	278,9	110,0	282,9	270,0	1,48	16,16	1,05	16,06
<i>P. nigra</i>	104,7	44,0	237,4	336,0	0,90		0,71	
	93,7	40,0	236,7	340,0	0,87		0,70	
	199,8	88,0	250,8	292,0	1,19		0,86	
	125,3	54,0	262,8	326,0	1,02		0,81	
	167,1	71,0	217,7	309,0	1,01		0,70	
	115,2	50,0	224,8	330,0	0,89		0,68	
	176,0	77,0	232,1	303,0	1,07		0,77	
	102,4	42,5	255,0	337,5	0,94	1,01	0,76	0,74
	230,5	94,0	212,5	286,0	1,17	0,11	0,74	0,06
	152,5	62,5	226,5	317,5	1,00	10,95	0,71	7,57
<i>P. menziesii</i>	190,5	76,0	221,7	304,0	1,08		0,73	
	137,0	57,0	252,9	323,0	1,03		0,78	
	170,9	72,0	237,2	308,0	1,07		0,77	
	112,6	47,0	265,6	333,0	1,00		0,80	
	103,2	44,0	280,5	336,0	1,01		0,83	
	110,8	46,0	240,2	334,0	0,92		0,72	
	184,7	74,0	230,0	306,0	1,09		0,75	
	117,4	47,0	241,4	333,0	0,94	1,01	0,72	0,75
	117,4	47,0	229,8	333,0	0,91	0,07	0,69	0,05
	202,4	81,0	208,2	299,0	1,08	6,78	0,70	6,20
<i>C. sativa</i>	99,3	41,0	219,1	339,0	0,84		0,65	
	198,7	87,0	227,6	293,0	1,12		0,78	
	122,3	52,0	243,9	328,0	0,96		0,74	
	107,4	45,0	255,1	335,0	0,95		0,76	
	154,0	64,0	226,9	316,0	1,00		0,72	
	77,1	33,0	234,4	347,0	0,82		0,68	
	106,7	46,0	223,5	334,0	0,87		0,67	
	188,3	77,0	237,6	303,0	1,12	0,96	0,78	0,72
	126,1	55,0	226,1	325,0	0,93	0,11	0,70	0,05
	152,1	64,0	229,9	316,0	1,01	10,95	0,73	6,59