

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

**INFLUÊNCIA DO COBERTO ARBÓREO (*Quercus suber* L.) EM
PROCESSOS ECOFISIOLÓGICOS DA VEGETAÇÃO
HERBÁCEA EM ÁREAS DE MONTADO**

Celeste Maria Martins Santos e Silva de Sá

**ÉVORA
2001**

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

**INFLUÊNCIA DO COBERTO ARBÓREO (*Quercus suber* L.) EM
PROCESSOS ECOFISIOLÓGICOS DA VEGETAÇÃO
HERBÁCEA EM ÁREAS DE MONTADO**

Celeste Maria Martins Santos e Silva de Sá

Dissertação apresentada à Universidade de
Évora para obtenção do grau de Doutor no
Ramo de Biologia



132 434

**ÉVORA
2001**

ERRATA

Página	Parágrafo	Linha	Onde se lê	Leia-se
14	1º	10ª	2.3.	2.2.3.
18	5º	9ª	ente	entre
32	1º	10ª	O peso seco (a 80 °C) exacto	O peso seco
39	5º	6ª	O peso seco (a 80 °C) exacto	O peso seco
140	5º	3ª	e10 cm.	e 10 cm.

Na página 203 a seguir ao 6º parágrafo, acrescentar :

Ross, J. 1981. *The radiation regime and architecture of plant stands*. Tasks for vegetation Sciences 3. Dr. W. Junk Publis. The Hague, London.

AGRADECIMENTOS

Um trabalho desta índole resulta necessariamente da conjugação de esforços de inúmeras pessoas que apoiaram a execução deste trabalho a nível científico, técnico, logístico e humano. Quero expressar a todos os que contribuíram para a elaboração desta dissertação o meu sincero reconhecimento, enumerarei apenas algumas que se destacam pela relevância do seu contributo:

- ☆ Expresso os meus agradecimentos ao Professor Doutor Luiz Carlos Gazarini (DB/UE), meu orientador, e ao Professor Doutor Manuel Armando Valeriano Madeira (DCA/ISA), meu co-orientador, pelo facto de me terem sugerido este tema de trabalho e aceite a responsabilidade de me conduzirem por este árduo processo de aprendizagem em busca do conhecimento. Agradeço-lhes o constante apoio e incentivos durante a elaboração deste trabalho, a formação científica e técnica transmitida, os seus conselhos, espírito crítico e as suas valiosas sugestões na revisão do manuscrito.
- ☆ Ao Professor Doutor Manuel Madeira e aos funcionários do Laboratório de Pedologia do ISA, pelas análises químicas efectuadas.
- ☆ À Professora Doutora Maria do Rosário Oliveira (DF/UE), pela disponibilização de equipamentos do Laboratório de Solos e pelos esclarecimentos sobre o sistema radical.
- ☆ Ao Professor Doutor António Fabião (DEF/ISA), o apoio precioso na análise do sistema radical e a cedência de informação bibliográfica.
- ☆ À Eng^a. Tec^a. Agr^a. Helena Carolino (DF/UE), pelo apoio logístico prestado, sem o qual não teria sido possível realizar uma grande parte das tarefas laboratoriais.
- ☆ Ao Professor Doutor Manuel Cancela d'Abreu e à Eng^a Cristina Pinheiro, pelo apoio

prestado para a execução de análises laboratoriais no Laboratório do ICAM e pelos ensinamentos transmitidos.

- ☆ Ao Professor Doutor Luís Dias pelos ensinamentos estatísticos que me transmitiu.
- ☆ À Eng^a Graça Machado pelo interesse com que executou as análises laboratoriais.
- ☆ Ao Professor Doutor Efe Serrano (DF/UE), pela disponibilização de espaços no laboratório de pastagens e forragens.
- ☆ A todos os técnicos que comigo trabalharam no Laboratório do CEEM e no Laboratório de Botânica do ICAM, pelo rigor e o empenho colocado na execução do trabalho de campo e laboratorial.
- ☆ Aos todos os colegas, docentes e não-docentes, da Universidade de Évora, com quem trabalhei e convivi durante a realização deste trabalho, o bom ambiente e a ajuda que me proporcionaram.
- ☆ Aos meus queridos amigos, pelo ânimo, carinho e confiança que sempre depositaram em mim e que sempre me encheram o coração de alegria, em especial nos momentos mais críticos.
- ☆ Ao meus pais e irmã, pelo tempo que roubei ao seu convívio e pelo seu apoio constante.
- ☆ Ao Vicente, por tudo.

ÍNDICE

Resumo	I
Abstract	III
Índice das figuras.....	V
Índice dos quadros.....	XI
1. INTRODUÇÃO	1
2. ÁREA DE ESTUDO.....	11
2.1. LOCALIZAÇÃO.....	13
2.2. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL	15
2.2.1. CLIMA E ÍNDICES BIOCLIMÁTICOS.....	15
2.2.1.1. CLIMA.....	15
2.2.1.2. ÍNDICES BIOCLIMÁTICOS.....	22
2.2.2. GEOLOGIA E SOLOS	23
2.2.3. VEGETAÇÃO	24
3. METODOLOGIAS	29
3.1. DETERMINAÇÕES E AMOSTRAGENS	31
3.1.1. CARACTERÍSTICAS E ACÇÃO DAS COPAS DE SOBREIRO.....	31
3.1.1.1. FENOLOGIA FOLIAR	31
3.1.1.2. PRODUÇÃO DE FOLHADA.....	31
3.1.1.3. DECOMPOSIÇÃO E DINÂMICA DE LIBERTAÇÃO DOS NUTRIENTES DAS FOLHAS..	32
3.1.1.4. TEOR DE HUMIDADE E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO	33
3.1.1.4.1. Teor de água no solo.....	33
3.1.1.4.2. Caracterização química do solo.....	33

3.1.1.5. RADIAÇÃO SOB E FORA DA COPA.....	34
3.1.2. ESTRUTURA DO COBERTO, REGIME DA RADIAÇÃO E DINÂMICA DA MATÉRIA	
ORGÂNICA E NUTRIENTES DA VEGETAÇÃO HERBÁCEA.....	35
3.1.2.1. FITOMASSA AÉREA E SUBTERRÂNEA	35
3.1.2.1.1. Fitomassa aérea.....	35
3.1.2.1.2. Fitomassa subterrânea.....	36
3.1.2.2. ESTRUTURA VERTICAL DOS COBERTOS.....	37
3.1.2.2.1. Estrutura vertical da fitomassa	37
3.1.2.2.2. Ângulos foliares.....	38
3.1.2.3. EXTINÇÃO DA RADIAÇÃO NOS COBERTOS.....	38
3.1.2.4. DECOMPOSIÇÃO E DINÂMICA DA LIBERTAÇÃO DOS NUTRIENTES.....	39
3.2. MÉTODOS LABORATORIAIS	41
3.2.1. MEDIÇÕES E PREPARAÇÃO DE MATERIAIS.....	41
3.2.1.1. MATERIAIS ORGÂNICOS.....	41
3.2.1.2. MATERIAIS TERROSOS	44
3.2.2. MÉTODOS ANALÍTICOS.....	45
3.2.2.1. MATERIAIS ORGÂNICOS.....	45
3.2.2.2. MATERIAIS TERROSOS	46
3.3. CÁLCULOS E TRATAMENTO ESTATÍSTICO	47
3.3.1. CARACTERÍSTICAS E ACÇÃO DAS COPAS DE SOBREIRO.....	47
3.3.1.1. FENOLOGIA FOLIAR	47
3.3.1.2. PRODUÇÃO DE FOLHADA.....	47
3.3.1.3. DECOMPOSIÇÃO E DINÂMICA DE LIBERTAÇÃO DOS NUTRIENTES DAS FOLHAS..	48
3.3.1.4. TEOR DE HUMIDADE E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO	50
3.3.1.4.1. Teor de água no solo.....	50
3.3.1.4.2. Caracterização química do solo.....	51
3.3.1.5. RADIAÇÃO SOB E FORA DA COPA	51

3.3.2. ESTRUTURA DO COBERTO, REGIME DA RADIAÇÃO E DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA E NUTRIENTES DA VEGETAÇÃO HERBÁCEA.....	52
3.3.2.1. FITOMASSA AÉREA E SUBTERRÂNEA	52
3.3.2.2. ESTRUTURA VERTICAL DOS COBERTOS.....	55
3.3.2.2.1. Estrutura vertical da fitomassa	55
3.3.2.2.2. Ângulos foliares.....	55
3.3.2.3. EXTINÇÃO DA RADIAÇÃO NOS COBERTOS.....	56
3.3.2.4. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA FITOMASSA.....	57
3.1.2.5. DECOMPOSIÇÃO E DINÂMICA DA LIBERTAÇÃO DOS NUTRIENTES.....	57
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1. CARACTERÍSTICAS E ACÇÃO DAS COPAS DE SOBREIRO.....	61
4.1.1. RESULTADOS.....	61
4.1.1.1. FENOLOGIA FOLIAR	61
4.1.1.2. PRODUÇÃO DE FOLHADA.....	62
4.1.1.2.1. Composição química da folhada.....	65
4.1.1.3. DECOMPOSIÇÃO E DINÂMICA DE LIBERTAÇÃO DOS NUTRIENTES DAS FOLHAS..	76
4.1.1.3.1. Caracterização das folhas usadas no estudo da decomposição	76
4.1.1.3.2. Perda de peso e taxa de decomposição	77
4.1.1.3.1. Dinâmica de nutrientes e materiais orgânicos.....	78
4.1.1.4. TEOR DE HUMIDADE E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO	85
4.1.1.4.1. Teor de água no solo <i>in situ</i>	85
4.1.1.4.2. Capacidade de retenção de água no solo.....	88
4.1.1.4.3. Caracterização química do solo.....	90
4.1.1.5. RADIAÇÃO SOB E FORA DA COPA.....	93
4.1.2. DISCUSSÃO.....	94
4.2. ESTRUTURA DO COBERTO, REGIME DA RADIAÇÃO E DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA E NUTRIENTES DA VEGETAÇÃO HERBÁCEA	106
4.2.1. RESULTADOS.....	106

4.2.1.1. FITOMASSA AÉREA E SUBTERRÂNEA	106
4.2.1.1.1. Fitomassa aérea.....	106
4.2.1.1.2. Fitomassa subterrânea.....	114
4.2.1.1.3. Razão fitomassa aérea / fitomassa subterrânea	120
4.2.1.2. ESTRUTURA VERTICAL DOS COBERTOS.....	124
4.2.1.2.1. Estrutura vertical da fitomassa	124
4.2.1.2.2. Ângulos foliares.....	131
4.2.1.3. EXTINÇÃO DA RADIAÇÃO NOS COBERTOS.....	137
4.2.1.4. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA FITOMASSA.....	142
4.2.1.4.1. Fitomassa aérea.....	142
4.2.1.4.2. Fitomassa subterrânea.....	151
4.2.1.5. DECOMPOSIÇÃO E DINÂMICA DOS NUTRIENTES	154
4.2.2. DISCUSSÃO.....	165
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	185
Bibliografia.....	193

RESUMO

Os montados de sobreiro, ecossistemas multi-seculares de carácter antrópico, são o sistema prevalecente de ocupação do solo no Alentejo, sendo normalmente explorados em regime agrosilvopastoril de carácter extensivo. Estas formações vegetais caracterizam-se pela coexistência de estratos fitoecológicos bem diferenciados: um estrato arbóreo pouco denso, um estrato arbustivo e um estrato herbáceo.

O presente estudo teve como principal objectivo determinar a influência do coberto arbóreo (*Quercus suber* L.) no desenvolvimento da vegetação herbácea. Para tal, procedeu-se à caracterização das áreas sob e fora da influência das copas – através do fluxo de nutrientes e matéria orgânica (produção e decomposição da folhada do sobreiro), das características do solo (teor de humidade, valores de pH, teor em nutrientes e matéria orgânica) e do regime da radiação fotossinteticamente activa – e ao estudo da vegetação herbácea que se desenvolve sob e fora da influência das copas, na sua componente aérea e subterrânea, analisando a sua composição florística e abundância de grupos taxonómicos, produtividade, estrutura do coberto, regime de extinção da radiação fotossinteticamente activa, composição química (teor em nutrientes e constituintes orgânicos) e dinâmica da libertação de nutrientes.

Concluiu-se que as condições microclimáticas e pedológicas sob a copa dos sobreiros são diferentes das encontradas nas áreas fora da influência das copas. O enriquecimento do solo sob copa em nutrientes e matéria orgânica deveu-se essencialmente à deposição da folhada do sobreiro. O aumento do teor de matéria orgânica no solo sob a copa modificou as propriedades desse solo, aumentando a sua capacidade de retenção de água. Esta acção, conjuntamente com a intercepção da radiação incidente, diminuiu a perda de água do solo, tornando-se as áreas sob a copa mais sombrias e com condições hídricas mais favoráveis.

A vegetação herbácea, essencialmente constituída por espécies anuais, apresentou uma estrutura vertical da fitomassa em pirâmide, considerada uma estratégia face à deficiência hídrica e/ou pastoreio. Para além disso, foi sensível às alterações ambientais derivadas da presença do coberto arbóreo, apresentando características diferentes sob e fora da influência das copas dos sobreiros. Deste modo, o coberto herbáceo sob as copas, face ao existente fora da influência das mesmas apresentou um predomínio de Monocotiledóneas, uma menor

percentagem de cobertura e uma produtividade (aérea e subterrânea) inferior. No entanto, o investimento em folhas, os índices de área, as concentrações em N, P, K, Ca, Mg e Mn e o teor em água, proteínas e lípidos apresentaram valores mais elevados para as herbáceas que cresciam sob a influência das copas de sobreiro. O teor mais elevado em fibras das herbáceas das áreas abertas ocasionou que o seu processo de decomposição fosse inicialmente mais lento do que o das herbáceas das áreas sob a copa, tendo estas, porém, registado uma libertação mais rápida de N, de Mg e de Mn.

Com base nas observações efectuadas depreende-se que as herbáceas estudadas estarão adaptadas a ambientes secos e ensolarados e com algumas restrições nutricionais, conseguindo adaptar-se, com prejuízo da sua produtividade global, a locais mais sombrios, que apesar de lhes proporcionarem uma maior disponibilidade hídrica e nutricional, não lhes permitem obter a eficiência fotossintética necessária.

ABSTRACT

The cork oak (*Quercus suber* L.) stands in southern Portugal are an important agrosilvopastoral ecosystem with strongly antropic influence. These systems are constituted by isolated trees, which are individual elements, natural and randomly distributed, surrounded by grassland, providing shelter and natural pasture for grazing. They are a multistrata system constituted by trees, shrubs and herbaceous layers.

The aim of the present study is to determine the effect of the *Q. suber* trees in understorey vegetation features. Several factors were measured in both below-crown and open-grassland habitats: (1) nutrients and organic matter fluxes (litter production and decomposition); (2) soil water content, pH, nutrients and organic matter content; (3) light (PAR) interception. In the herbaceous layer was studied: (1) floristic composition; (2) density and plant basal cover; (3) aboveground and belowground primary production; (4) vertical structure of the phytomass; (5) extinction of radiation (PAR); (6) phytomass nutrients (N, Ca, K, Mg Mn, and P) and organic compounds such as, proteins, lipids and fibrous (hemicellulose, cellulose and lignin); (7) litter decomposition and nutrients release.

The results obtained showed that the soil and microclimatic conditions were clearly different between below-crown and open-grassland habitats. In below-crown the litterfall was very important in improving the organic matter and nutrients of the soil. Moreover, the crown effect, especially shade reduced water evaporation, and thus increased the soil water content.

The productivity above and below ground, the fibrous content, the plant basal cover and the abundance of Dicotyledons were highest in open-grassland areas. Although, the nutrients content, water content, protein, lipids and phytomass area index were highest in below-crown areas, the phytomass vertical structure and decomposition rates of the vegetation below-crown and in open-grassland were similar.

Despite the nutrients and moisture conditions in below-crown soil showing best conditions for the increment of the herbaceous layer, in fact the productivity was lowest. The results suggest that radiation was the limiting factor affecting the photosynthetic efficiency.

ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura 1. Localização geográfica da área de estudo, destacando Évora e o C.E.E.M.....	13
Figura 2. Limites, caminhos e linhas de água temporárias do Centro de Estudos e Experimentação da Mitra (C.E.E.M.). Estão assinaladas as zonas onde se efectuaram os trabalhos experimentais (A, B), escala 1: 22 500.....	14
Figura 3. Diagrama ombrotérmico da estação meteorológica da Mitra com as médias mensais de 30 anos (1951 a 1980) da temperatura média do ar (T) e da precipitação (P). Existe um período seco, quando $P < 2T$	19
Figura 4. Diagrama ombrotérmico da estação meteorológica da Mitra, com as médias mensais de 6 anos (1994 a 1999) da temperatura média do ar (T) e da precipitação (P). Existe um período seco, quando $P < 2T$ e um período muito húmido quando $P > 100$ mm.....	19
Figura 5 – Valores mensais da precipitação (Prec), das temperaturas do ar máximas (Tmax), médias (Tar), mínimas (Tmin), da temperatura da superfície do solo (Tsupsolo) e da humidade relativa do ar (Hum%) (que se lê no eixo da temperatura) para a região da Mitra, de Janeiro de 1994 a Dezembro de 1999.....	21
Figura 6. Colector (“littertrap”) (1:14).....	32
Figura 7. Ceptómetro (1:7).....	34
Figura 8. Estrutura de protecção da vegetação do pastoreio, 3 m x 2 m x 1 m.....	35
Figura 9. Sonda utilizada para amostragem da fitomassa subterrânea (1:10).....	36
Figura 10. Estrutura de auxílio para o corte estratificado (1:12).....	37
Figura 11. Inclínómetro (1:3).....	38
Figura 12. Número de folhas presentes e número acumulado de folhas formadas e caídas, de Novembro de 1995 a Abril de 1997.....	61
Figura 13. Variação da quantidade (g m^{-2}) das componentes da folhada de sobreiro, A-folhas; B-raminhos, inflorescências e frutos, de Março de 1994 a Dezembro de 1998.....	64
Figura 14. Concentrações mensais (mg g^{-1} de peso seco) de N, Ca, K, Mg, Mn e P nas folhas da folhada e quantidades mensais (g m^{-2}) de folhas da folhada, de Março de 1994 a Dezembro de 1998.....	66
Figura 15. Concentrações mensais (mg g^{-1} de peso seco) de N, Ca, K, Mg, Mn e P nos raminhos da folhada e quantidades mensais (g m^{-2}) de raminhos da folhada, de Março de 1994 a Dezembro de 1998.....	70

Figura 16. Percentagem da matéria orgânica (MO) remanescente ao longo do processo de decomposição das folhas de sobreiro.....	77
Figura 17. Proporções remanescente de N, Ca, Mn, (A) P, K e Mg (B) ao longo do processo de decomposição de folhas de sobreiro.....	79
Figura 18. Proporção remanescente de lenhina ao longo do processo de decomposição de folhas de sobreiro.....	81
Figura 19. Proporção remanescente de holocelulose ao longo do processo de decomposição de folhas de sobreiro.....	82
Figura 20. Proporção remanescente de lípidos ao longo do processo de decomposição de folhas de sobreiro.....	83
Figura 21. Concentração de N na MO e razão C/N ao longo do processo de decomposição das folhas de sobreiro.....	84
Figura 22. Concentração de P na MO e razão C/P ao longo do processo de decomposição das folhas de sobreiro.....	84
Figura 23. Percentagem de humidade no solo, das ASC e das AFC, para três níveis de profundidade (0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm) e respectivos desvios padrão, em 1994 (Março a Junho) (A), em 1994/95 (Novembro a Maio) (B) e em 1995/96 (Dezembro a Junho) (C).....	87
Figura 24. Percentagens de retenção de água no solo, para cada valor de pF, nas AFC e nas ASC e respectivos desvios padrão, para as três profundidades amostradas, em Janeiro de 1997.....	89
Figura 25. Curvas de tensão de humidade do solo das ASC e das AFC, para as profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm, em Janeiro de 1997.....	90
Figura 26. Variação sazonal da biomassa aérea, da necromassa e da manta morta de herbáceas (g m^{-2}), da AFC e da ASC, nos três anos de estudo.....	107
Figura 27. Fitomassa total (FT), biomassa total (BT) e biomassa foliar (BF), e respectivos erros padrão, das herbáceas da AFC e da ASC, para os três anos de estudo, no máximo desenvolvimento da vegetação.....	108
Figura 28. Percentagens relativas dos componentes da fitomassa aérea de herbáceas, folhas verdes (fv), folhas mortas (fm), caules verdes (cv), caules mortos (cm) e órgãos reprodutores (or), da ASC e da AFC, nos três anos de estudo, no máximo desenvolvimento da vegetação.....	109
Figura 29. Proporção de Monocotiledóneas (Monocot) e Dicotiledóneas (Dicot) nos cobertos de herbáceas existentes na AFC e na ASC, para os três anos de estudo, no máximo desenvolvimento da vegetação.....	109
Figura 30. Índices de área (LAI, GAI e PAI) e respectivos erros padrão da fitomassa aérea de herbáceas da AFC e da ASC, para os três anos de estudo, no máximo desenvolvimento da vegetação.....	110

Figura 31. Variação sazonal da biomassa subterrânea e da necromassa de herbáceas (g m^{-2}), da AFC e da ASC, nos três anos de estudo.....	114
Figura 32. Biomassa radical (BR) e necromassa radical (NR), isentas de cinza, e respectivos erros padrão de herbáceas da AFC e da ASC, para os três anos de estudo, no máximo desenvolvimento da vegetação.....	117
Figura 33. Biomassa radical de herbáceas, isenta de cinza, e respectivos erros padrão para diferentes profundidades na AFC e na ASC, para os três anos de estudo, no máximo desenvolvimento da vegetação.....	118
Figura 34. Comprimentos radicais das herbáceas e respectivos erros padrão para diferentes profundidades na AFC e na ASC, para os três anos de estudo, no máximo desenvolvimento da vegetação.....	118
Figura 35. Densidades radicais de herbáceas e respectivos erros padrão para diferentes profundidade na AFC e na ASC, para os três anos de estudo, no máximo desenvolvimento da vegetação.....	119
Figura 36. Relação entre o comprimento e a biomassa radicais de herbáceas, para a profundidade de 0-5 cm da AFC, para os três anos de estudo.....	121
Figura 37. Relação entre o comprimento e a biomassa radicais de herbáceas, para a profundidade de 0-5 cm da ASC, para os três anos de estudo.....	121
Figura 38. Relação entre o comprimento e a biomassa radicais de herbáceas, para a profundidade 5-20 cm das ASC e AFC, para os três anos de estudo.....	121
Figura 39. Razão entre a fitomassa aérea e a fitomassa subterrânea de herbáceas, da AFC e da ASC, ao longo dos meses nos três anos de estudo.....	123
Figura 40. Estrutura vertical dos cobertos de herbáceas da AFC e da ASC, no máximo desenvolvimento da vegetação, em 1994. Da esquerda para a direita: curvas de extinção da PAR, directa e difusa; índices de área acumulados, LAI, GAI e PAI; distribuição vertical dos componentes da fitomassa aérea das herbáceas; e ângulos foliares médios por estrato.....	125
Figura 41. Estrutura vertical dos cobertos de herbáceas da AFC e da ASC, no máximo desenvolvimento da vegetação, em 1995. Da esquerda para a direita: curvas de extinção da PAR, directa e difusa; índices de área acumulados, LAI, GAI e PAI; distribuição vertical dos componentes da fitomassa aérea das herbáceas; e ângulos foliares médios por estrato.....	127
Figura 42. Estrutura vertical dos cobertos de herbáceas da AFC e da ASC, no máximo desenvolvimento da vegetação, em 1996. Da esquerda para a direita: curvas de extinção da PAR, directa e difusa; índices de área acumulados, LAI, GAI e PAI; distribuição vertical dos componentes da fitomassa aérea das herbáceas; e ângulos foliares médios por estrato.....	129
Figura 43. Frequências acumuladas dos ângulos foliares. Para caracterizar a estrutura dos cobertos, representa-se a frequência acumulada (da base para o topo) dos ângulos foliares, ponderada com a área foliar, contra o ângulo médio de cada classe. Tipos de coberto: 1 – planófilo, 2 – extremófilo, 3 – plagiófilo e 4 – erectófilo.....	132

Figura 44. Proporção das classes de ângulos foliares (I – 0-9°, II – 10-19°, III – 20-29°, IV – 30-39°, V – 40-49°, VI – 50-59°, VII – 60-69°, VIII – 70-79°, IX – 80-89°) presentes em cada estrato da vegetação herbácea, no seu máximo desenvolvimento, na AFC e na ASC em 1994..... 133

Figura 45. Proporção das classes de ângulos foliares (I – 0-9°, II – 10-19°, III – 20-29°, IV – 30-39°, V – 40-49°, VI – 50-59°, VII – 60-69°, VIII – 70-79°, IX – 80-89°) presentes em cada estrato da vegetação herbácea, no seu máximo desenvolvimento, na AFC e na ASC em 1995..... 134

Figura 46. Proporção das classes de ângulos foliares (I – 0-9°, II – 10-19°, III – 20-29°, IV – 30-39°, V – 40-49°, VI – 50-59°, VII – 60-69°, VIII – 70-79°, IX – 80-89°) presentes em cada estrato da vegetação herbácea, no seu máximo desenvolvimento, na AFC e na ASC em 1996..... 135

Figura 47. Extinção da radiação fotossinteticamente activa (PAR), em percentagem, ao longo dos estratos dos cobertos das AFC, para os três anos de estudo..... 138

Figura 48. Extinção da radiação fotossinteticamente activa (PAR), em percentagem, ao longo dos estratos dos cobertos das ASC, para os três anos de estudo..... 139

Figura 49. Concentrações de nutrientes (N, K, Ca, Mg, P, Mn (a concentração de Mn está aumentada 10 vezes)) em mg g^{-1} de MS nos diversos componentes, de Monocotiledóneas: fvm- folhas verdes, fmm- folhas mortas, cvm- caules verdes, cmm- caules mortos e orm- órgãos reprodutores e Dicotiledóneas: fvd-folhas verdes, fmd- folhas mortas, cvd- caules verdes, cmd- caules mortos e ord- órgãos reprodutores, dos cobertos da ASC no máximo desenvolvimento, em 1994 (A), 1995 (B) e 1996 (C)..... 143

Figura 50. Concentrações de nutrientes (N, K, Ca, Mg, P, Mn (a concentração de Mn está aumentada 10 vezes)) em mg g^{-1} de MS nos diversos componentes, de Monocotiledóneas: fvm- folhas verdes, fmm- folhas mortas, cvm- caules verdes, cmm- caules mortos e orm- órgãos reprodutores e Dicotiledóneas: fvd-folhas verdes, fmd- folhas mortas, cvd- caules verdes, cmd- caules mortos e ord- órgãos reprodutores, dos cobertos da AFC no máximo desenvolvimento, em 1994 (A), 1995 (B) e 1996 (C)..... 144

Figura 51. Concentrações de N, K e Ca, em mg g^{-1} de MS, nos diversos componentes de Monocotiledóneas: fvm-folhas verdes, fmm- folhas mortas, cvm- caules verdes, cmm- caules mortos e orm- órgãos reprodutores e Dicotiledóneas: fvd-folhas verdes, fmd- folhas mortas, cvd- caules verdes, cmd- caules mortos e ord- órgãos reprodutores, das herbáceas das AFC e das ASC, no máximo desenvolvimento, em 1994, 1995 e 1996..... 147

Figura 52. Concentrações de Mg, P e Mn, em mg g^{-1} de MS, nos diversos componentes de Monocotiledóneas: fvm-folhas verdes, fmm- folhas mortas, cvm- caules verdes, cmm- caules mortos e orm- órgãos reprodutores e Dicotiledóneas: fvd-folhas verdes, fmd- folhas mortas, cvd- caules verdes, cmd- caules mortos e ord- órgãos reprodutores, das herbáceas das AFC e das ASC, no máximo desenvolvimento, em 1994, 1995 e 1996..... 148

Figura 53. Concentrações de N, Ca e Mg, em mg g^{-1} de MO, nas raízes de herbáceas, às profundidades de 0-5 cm e 5-20 cm, na AFC e na ASC, no máximo desenvolvimento da vegetação, em 1994, 1995 e 1996..... 152

Figura 54. Concentrações de K, P e Mn, em mg g^{-1} de MO, nas raízes de herbáceas, às profundidades de 0-5 cm e 5-20cm, nas AFC e ASC, no máximo desenvolvimento da vegetação, em 1994, 1995 e 1996..... 152

Figura 55. Percentagem de matéria orgânica (MO) remanescente ao longo do processo de decomposição das herbáceas da área sob coberto (ASC) e da área fora do coberto (AFC).....	156
Figura 56. Proporção remanescente de N ao longo do processo de decomposição das herbáceas da área sob coberto (ASC) e da área fora do coberto (AFC).....	157
Figura 57. Proporção remanescente de Ca ao longo do processo de decomposição das herbáceas da área sob coberto (ASC) e da área fora do coberto (AFC).....	158
Figura 58. Proporção remanescente de Mg ao longo do processo de decomposição das herbáceas da área sob coberto (ASC) e da área fora do coberto (AFC).....	159
Figura 59. Proporção remanescente de K ao longo do processo de decomposição das herbáceas da área sob coberto (ASC) e da área fora do coberto (AFC).....	160
Figura 60. Proporção remanescente de P ao longo do processo de decomposição das herbáceas da área sob coberto (ASC) e da área fora do coberto (AFC).....	161
Figura 61. Proporção remanescente de Mn ao longo do processo de decomposição das herbáceas da área sob coberto (ASC) e da área fora do coberto (AFC).....	161
Figura 62. Concentração de N e razão C/N, na matéria orgânica das herbáceas da AFC em decomposição.....	162
Figura 63. Concentração de N e razão C/N, na matéria orgânica das herbáceas da ASC em decomposição.....	163
Figura 64. Concentração de P e razão C/P, na matéria orgânica das herbáceas da AFC em decomposição.....	163
Figura 65. Concentração de P e razão C/P, na matéria orgânica das herbáceas da ASC em decomposição.....	164
Figura 66. Composição química média anual, em $g\ m^{-2}$, da folhada de sobreiro (◇) e das herbáceas – fitomassa aérea (□) e fitomassa subterrânea (▤) – que crescem sob e fora da influência das copas e devolução anual de nutrientes, em $g\ m^{-2}$, pelo processo de decomposição (a vermelho). Teor de nutrientes no solo, em $g\ kg^{-1}$, (○) das ASC e das AFC.....	190

ÍNDICE DOS QUADROS

Quadro 1. Valores de temperatura, precipitação e humidade relativa da Estação Meteorológica da Mitra relativas à normal climatológica 1954-80 e ao período 1994-99.....	16
Quadro 2. Valores médios de temperatura, precipitação, humidade relativa e temperatura da superfície do solo para vários períodos de registo. *(registos de 1995 a 1999) **(registos de 1996 a 1999).....	20
Quadro 3. Índices bioclimáticos para a Mitra relativos à normal climatológica 1951-80 e ao período 1994-99.....	22
Quadro 4. Lista das classes, famílias e espécies (Franco, 1974, 1984; Tutin <i>et al.</i> , 1990, 1991, 1992, 1996, 1996a) mais representadas nas áreas sob (ASC) e fora (AFC) da influência das copas de sobreiro, durante os três anos de estudo. Referem-se para cada espécie, características dos seus ciclos de vida e o seu grau de abundância.....	26
Quadro 5. Produção anual média de folhada (g m^{-2}) e respectivos erros padrão, de 1994 a 1998. * Neste ano a colheita da folhada foi efectuada de Março a Dezembro	63
Quadro 6. Concentrações (mg g^{-1}) médias anuais ponderadas, mediana, máximo e mínimo de N, Ca, K, Mg, Mn e P nas folhas da folhada de sobreiro, de 1994 a 1998. * Neste ano a colheita da folhada foi efectuada de Março a Dezembro.....	67
Quadro 7. Retorno anual de N, Ca, K, Mg, Mn e P ao solo, em $\text{g m}^{-2} \text{ano}^{-1}$, através das folhas da folhada de sobreiro, de 1994 a 1998. * Neste ano a colheita da folhada foi efectuada de Março a Dezembro.....	68
Quadro 8—Concentração (mg g^{-1}) de N, K e P nas folhas adultas existentes antes do período de queda máxima e nas folhas da folhada de sobreiro colhidas no período de queda máxima. Valores da translocação relativa (%) de N, K e P.....	69
Quadro 9. Concentrações (mg g^{-1}) médias anuais ponderadas, mediana, máximo e mínimo de N, Ca, K, Mg, Mn e P nos raminhos da folhada de sobreiro, de 1994 a 1998. * Neste ano a colheita da folhada foi efectuada de Março a Dezembro.....	71
Quadro 10. Retorno anual de N, Ca, K, Mg, Mn e P ao solo, em $\text{g m}^{-2} \text{ano}^{-1}$, através dos raminhos da folhada de sobreiro, de 1994 a 1998. * Neste ano a colheita da folhada foi efectuada de Março a Dezembro.....	72
Quadro 11. Concentrações (mg g^{-1}) médias anuais, de N, Ca, K, Mg, Mn e P nas inflorescências de sobreiro, de 1994 a 1998. * Neste ano a colheita da folhada foi efectuada de Março a Dezembro.....	73
Quadro 12. Retorno anual de N, Ca, K, Mg, Mn e P ao solo, em $\text{g m}^{-2} \text{ano}^{-1}$, através das inflorescências de sobreiro, de 1994 a 1998. * Neste ano a colheita da folhada foi efectuada de Março a Dezembro.....	73

Quadro 13. Concentrações (mg g^{-1}) médias anuais de N, Ca, K, Mg, Mn e P nos frutos de sobreiro, de 1994 a 1998. * Neste ano a colheita da folhada foi efectuada de Março a Dezembro	74
Quadro 14. Retorno anual de N, Ca, K, Mg, Mn e P ao solo, em $\text{g m}^{-2} \text{ano}^{-1}$, através dos frutos de sobreiro, de 1994 a 1998. * Neste ano a colheita da folhada foi efectuada de Março a Dezembro.....	74
Quadro 15. Retorno anual de N, Ca, K, Mg, Mn e P ao solo, em $\text{g m}^{-2} \text{ano}^{-1}$, através de todos os componentes da folhada de sobreiro, de 1994 a 1998. * Neste ano a colheita da folhada foi efectuada de Março a Dezembro.....	75
Quadro 16. Características minerais e orgânicas das folhas da folhada colocadas a decompôr em Outubro de 1994.....	76
Quadro 17. Valores médios da humidade do solo e respectivos desvios padrão, nas ASC e nas AFC, em 1994 (Março a Junho), em 1994/95 (Novembro a Maio) e em 1995/96 (Dezembro a Junho), I-primeira quinzena do mês e II-segunda quinzena do mês.....	86
Quadro 18. Valores médios do azoto total, do carbono orgânico total e da fracção de carbono orgânico humificado e não-humificado (em mg g^{-1}). Razões entre a fracções de carbono orgânico humificado (Ch) / não humificado (Cnh) e carbono/azoto para as amostras de solo das AFC e das ASC, em Dezembro e Junho, de 1995 e 1996.....	91
Quadro 19. Valores médios do fósforo e potássio extraíveis (em $\mu\text{g g}^{-1}$) e do pH para as amostras de solo das AFC e das ASC, em Dezembro e Junho, de 1995 e 1996.....	91
Quadro 20. Percentagem média da PAR, directa e difusa, e respectivos desvios padrão, interceptada ao longo de um dia pelas copas de sobreiro.....	93
Quadro 21. Índices descritores, que relacionam os pesos e áreas, da fitomassa aérea de herbáceas da AFC e da ASC, no máximo desenvolvimento da vegetação, para os três anos de estudo (o significado de cada uma das iniciais encontra-se no ponto 3.3.2.1.).....	112
Quadro 22. Índices descritores da fitomassa aérea e subterrânea de herbáceas, da AFC e da ASC, no máximo desenvolvimento da vegetação, para os três anos de estudo (o significado das iniciais encontra-se no ponto 3.3.2.1.).....	115
Quadro 23. Diâmetros médios das raízes de herbáceas (mm) e respectivos desvios padrão para diferentes profundidades na AFC e na ASC, nos três anos de estudo.....	120
Quadro 24. Valores da produtividade da fitomassa aérea (FA), subterrânea (FS) e total (FT) de herbáceas, em g m^{-2} , e respectivos erros padrão e valores da razão entre a fitomassa aérea e subterrânea (FS/FA), na AFC e na ASC, para os três anos de estudo.....	122
Quadro 25. Valores dos ângulos foliares médios (em graus) das folhas de herbáceas, por estrato, para a AFC e a ASC, nos três anos de estudo, e valor do ângulo médio por coberto.....	136
Quadro 26. Concentrações de nutrientes na fitomassa aérea de herbáceas, em mg g^{-1} , no máximo desenvolvimento da vegetação, nas ASC e nas AFC, para os três anos de estudo.....	146
Quadro 27. Valores de N, de K, de Ca, de Mg, P e de Mn, em g m^{-2} , na fitomassa aérea dos cobertos de herbáceas, no máximo desenvolvimento da vegetação, nas ASC e nas AFC, para os três anos de estudo	149

Quadro 28. Valores percentuais de água, no peso fresco, MO, no peso seco, e componentes orgânicos nas Monocotiledóneas (Monoc) e Dicotiledóneas (Dicot) nas ASC e AFC. * valores expressos na matéria orgânica (MO).....	150
Quadro 29. Valores dos componentes orgânicos da fitomassa de herbáceas, em g m^{-2} , nas ASC e nas AFC, no máximo desenvolvimento da vegetação, ao longo dos anos de estudo.....	151
Quadro 30. Concentrações de nutrientes na fitomassa subterrânea de herbáceas, em mg g^{-1} de MO, no máximo desenvolvimento da vegetação, nas ASC e nas AFC, para os três anos de estudo	153
Quadro 31. Valores de N, de K, de Ca, de Mg, de P e de Mn, em g m^{-2} , na fitomassa subterrânea dos cobertos de herbáceas, no máximo desenvolvimento da vegetação, nas ASC e nas AFC, para os três anos de estudo.....	154
Quadro 32. Características minerais e orgânicas das herbáceas colocadas a decompor em Outubro de 1994; CE – celulose, HE– hemicelulose, LE – lenhina.....	155

1. INTRODUÇÃO

As florestas de sobreiro (*Quercus suber* L.) e azinheira (*Quercus rotundifolia* Lam.) ocupam a região ocidental da bacia mediterrânica há cerca de 6 000 anos (Mateus, 1992; Reille & Pons, 1992). A transformação dessas florestas nos sistemas actualmente designados por montados (de sobre e azinho) teve provavelmente início durante a época romana, com a criação de latifúndios e o incremento da agricultura na Península Ibérica (Ribeiro, 1991).

Os montados de sobre e azinho são o sistema prevalecente de ocupação do solo do Alentejo apresentando em geral, nesta região, uma baixa densidade arbórea, com grau de cobertura do solo pelas copas normalmente inferior a 50%. De facto, segundo a Direcção Geral de Florestas (DGF, 1999), apenas 3,5% dos montados de azinho e 25,8% dos montados de sobre apresentam graus de cobertura superiores aquele valor.

Estes agrossistemas têm sido objecto de exploração pelo Homem, muitas vezes de forma inadequada – podas excessivas, descortiçamentos exagerados (Cabral *et al.*, 1992), sobre-pastoreio – ou simplesmente abandonados, produzindo desequilíbrios na vegetação, nomeadamente pela competição hídrica entre o sobreiro e outras espécies lenhosas, que não se desenvolvem quando o controlo de matos é efectuado periodicamente (Brito de Carvalho, 1993). Estes e outros problemas são também comuns nas “*dehesas*” de Espanha (Montero *et al.*, 1989) e nas florestas de sobre marroquinas (Montoya, 1989). Não obstante os erros cometidos na sua gestão, os montados constituem importantes ecossistemas que importa conservar e proteger. Tipicamente ibéricos, estes sistemas são ricos do ponto de vista florístico e faunístico, propícios à utilização florestal múltipla económica e socialmente compensadora (Joffre *et al.*, 1988; Ribeiro, 1993). Eles são o resultado complexo de uma interacção entre o Homem e o seu ambiente que, a julgar pela sua ancestralidade, alcançou um certo grau de equilíbrio, constituindo uma prova de que tal interacção é possível e duradoura sem prejuízo de nenhuma das partes (Parra, 1990; Joffre, 1992; Brito de Carvalho, 1993).

Face ao reconhecimento da progressiva degradação dos montados e da desertificação humana que se observa nas respectivas zonas de ocupação, é urgente que se tomem medidas de gestão e conservação adequadas a estes ecossistemas, de modo a preservar a sua potencialidade, especificidade e diversidade (Hora *et al.*, 1995).

Os montados são ecossistemas multi-seculares de carácter antrópico, sendo normalmente explorados em regime agrosilvopastoril de carácter extensivo. Estas formações vegetais são em geral caracterizadas pela coexistência de estratos fitoecológicos bem

diferenciados espacialmente: um estrato herbáceo, um estrato arbustivo e um estrato arbóreo mais ou menos disperso.

O pastoreio e o controlo dos matos impedem o desenvolvimento das espécies arbustivas (Fernández-Alés *et al.*, 1997), tomando a paisagem um aspecto de “savana”, ou seja, árvores dispersas e um sub-bosque formado por um tapete de herbáceas. Este é composto essencialmente por espécies anuais que germinam depois das primeiras chuvadas outonais, florescem e dão semente na Primavera e fenecem no início do Verão, permanecendo na estação desfavorável (Verão) sob a forma de sementes no solo (anuais de Inverno).

Duas hipóteses não exclusivas podem ser apontadas para explicar a dominância de plantas anuais, nestes sistemas :

- 1) A dominância de anuais é apresentada como consequência de acções antrópicas: fogo, pastoreio e intervenções agrícolas (Harrington, 1981);
- 2) A segunda é a hipótese climática: a irregularidade da precipitação e a longa estação seca são tais que não permitem a manutenção de espécies herbáceas perenes (Montoya, 1983).

De acordo com o ciclo de vida das espécies anuais, estas são consideradas ruderais, segundo Grime (1979): “anuais ou perenes de vida curta adaptadas a explorar ambientes intermitentemente favoráveis para o rápido crescimento das plantas”. A dominância por plantas anuais dos prados mediterrânicos foi correlacionada com ambientes ruderais sujeitos a perturbações pelo Homem e a longos estios (Jackson & Roy, 1986).

Os prados mediterrânicos são ricos em número de espécies (120-180 /100 m²) (Naveh & Whittaker, 1979) e a sua composição florística e abundância específica varia imenso no tempo e no espaço, de acordo com a fertilidade do solo, variações da precipitação, intensidade de pastoreio e efeitos antropogénicos (Ortega & Fernández-Alés, 1989). As famílias mais comuns são as *Poaceae*, as *Asteraceae* e as *Fabaceae*, representando cerca de três quartos das espécies herbáceas dos prados mediterrânicos (Marañón, 1986).

Tem sido verificado, de facto, que o tipo de vegetação herbáceo-arbustiva em montados é consideravelmente diferente sob e fora da influência das copas (González-Bernaldez *et al.*, 1969; Marañón, 1985, 1986 e 1991; Barrantes *et al.*, 1986; Joffre & Los Llanos, 1986), embora não seja ainda conhecida a importância relativa dos diversos factores dominantes que podem contribuir para explicar essa diferenciação (regime de radiação,

temperatura e características físicas e químicas do solo). As árvores isoladas criam uma atmosfera particular na área da sua influência (efeitos microclimáticos), alteram as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (teor de humidade, valor de pH e teores de nutrientes e matéria orgânica) (Baltasar *et al.*, 1983; Belsky, 1994) e modificam os fluxos de energia e biomassa (queda e decomposição da folhada), influenciando a estrutura da comunidade e funcionamento dos ecossistemas (Schlesinger *et al.*, 1996). Este efeito pode ser negativo, positivo ou neutro na produtividade das herbáceas, dependendo de uma multiplicidade de factores (Scholes & Archer, 1997). Alguns estudos em ecossistemas de montado mostraram que os solos sob as copas são mais ricos em matéria orgânica e em nutrientes (Salgueiro, 1973; Nunes *et al.*, 1999) e apresentam uma maior disponibilidade hídrica (Young, 1989).

A disponibilidade hídrica tem sido apontada como um dos factores que mais influenciam a produtividade de herbáceas (Breman & De Wit, 1983; Risser, 1985), não sendo contudo a única limitação. Vários autores demonstraram que quando um parâmetro considerado limitante deixa de o ser, outros factores assumem esse papel (Laurenroth *et al.*, 1978; Breman & De Wit, 1983; Van Auken & Bush, 1989). Esses factores poderão ser o herbivorismo, a temperatura, a intensidade luminosa e a concentração de vários nutrientes, em especial do N e P (Chapin *et al.*, 1987).

As espécies vegetais desenvolveram vários mecanismos para reduzir a competição entre si por recursos que escasseiam no *habitat* em que estão inseridas, de modo a assegurar a sua coexistência. Deste modo, a produtividade geral da comunidade é mais estável, face a variações ambientais, do que a produtividade de uma dada espécie (Chapin & Shaver, 1985).

Nos sistemas de montado em que é mantido o binómio árvore-herbáceas, quer por controlo dos matos, quer por pastoreio, as árvores dispersas afectam a produtividade do estrato vegetal que cresce sob a área de influência da sua copa. Alguns estudos efectuados em sistemas do tipo “savana” de clima temperado e tropical, registaram uma redução da produtividade de herbáceas sob a copa de árvores que com elas competem pela luz, água e nutrientes (Walter, 1971; Walker & Noy-Meir, 1982; McMurtrie & Wolf, 1983). Outros trabalhos demonstraram a situação inversa, isto é, o aumento da produtividade de herbáceas sob a copa das árvores (Salgueiro, 1973; Baltasar *et al.*, 1983; Holland, 1980; Stuart-Hill *et al.*, 1987; Belsky *et al.*, 1989, 1993a, 1993b; Frost & McDougald, 1989; Weltzin &

Coughenour, 1990).

Nos sistemas de clima tropical e sub-tropical, com uma baixa densidade arbórea, baixos valores de pluviosidade anual e solos moderadamente férteis, tem sido frequentemente constatado o aumento da produtividade do estrato herbáceo próximo da zona de influência das copas de árvores (Knoop & Walker, 1985; McClaran & Bartolome, 1989; Burrows *et al.*, 1990; Belsky & Amundson, 1992, Belsky *et al.*, 1993a). Pelo contrário, em sistemas com densidade arbórea mais elevada, com valores de precipitação superiores ou solos muito pobres, registaram-se casos de diminuição da produtividade de herbáceas sob as copas (Burrows *et al.*, 1988) e o aumento dessa produção quando algumas árvores foram removidas (Walker *et al.*, 1986; Clary, 1987; Pieper, 1990).

As diferenças observadas entre as produções sob e fora da influência das copas, foram atribuídas a três factores fundamentais:

- 1) melhoria da fertilidade e estrutura do solo sob as copas;
- 2) melhoria das condições hídricas nas plantas ensombradas;
- 3) competição entre as árvores e as herbáceas sob as suas copas por recursos hídricos e nutricionais.

Em primeiro lugar, os solos localizados sob as copas apresentam, frequentemente, concentrações mais elevadas de matéria orgânica, N, Ca, K e P (Salgueiro, 1973; Nunes *et al.*, 1999), maior biomassa microbiana e um aumento da capacidade de retenção de água, que os solos das áreas abertas (Young, 1989; Vetaas, 1992). As melhores condições do solo sob a copa poderiam influenciar positivamente a produtividade das herbáceas que se desenvolvem nesse local.

Em segundo lugar, a sombra proporcionada pelas copas reduz a temperatura do solo e da vegetação, bem como a evapotranspiração na área da sua influência. Esta redução das perdas de água resulta numa melhoria das condições hídricas da vegetação que se desenvolve sob a copa das árvores (Frost & McDougald, 1989; Weltzin & Coughenour, 1990). Por fim, a competição subterrânea entre as árvores e a vegetação herbácea poderá resultar numa redução da produtividade destas últimas (Parker & Muller, 1982; Monk & Gabrielson, 1985, Somarriba, 1988).

Nos ecossistemas mediterrâneos, particularmente naqueles que ocorrem em solos pobres em nutrientes, a contribuição da folhada é fundamental para o estado de fertilidade do

solo. Com efeito, a folhada caída na área de influência da copa das árvores é um factor de enriquecimento do solo em matéria orgânica, determinando o aumento da capacidade de retenção de água no solo, bem como uma maior disponibilidade de nutrientes. É através dos processos de decomposição e mineralização da folhada que os nutrientes essenciais para o crescimento vegetal são disponibilizados, podendo ser reabsorvidos pelo estrato vegetal. A velocidade do processo de decomposição, embora dependente da actividade biológica do solo e das características físicas e químicas do substrato a decompor (Gallardo & Schlesinger, 1994), é controlada pelas condições de humidade e temperatura de cada região.

No contexto referido, iniciou-se um estudo para fundamentar o conhecimento da forma como a presença dos sobreiros modifica as condições do solo e o regime de radiação e ainda, que influência esses factores desempenham no desenvolvimento e produção da vegetação herbácea.

Para avaliar a influência das copas de sobreiro, considerou-se:

- * O contributo da folhada de sobreiro para o enriquecimento do solo sob a copa em nutrientes e matéria orgânica, para tal, acompanhou-se o processo de formação e queda das folhas verificando a existência de translocação de nutrientes; quantificou-se a produção de folhada de sobreiro ao longo do ano e a variação das concentrações de nutrientes nos diversos componentes da folhada; e determinou-se a taxa de decomposição das folhas da folhada e a dinâmica de libertação/imobilização de nutrientes.
- * As condições do solo, sob e fora da influência das copas, avaliando o teor de humidade do solo e a capacidade deste para retenção de água; e determinando as concentrações de C, N, P, K e os valores de pH do solo.
- * O regime de radiação fotossinteticamente activa (PAR), sob e fora das copas, quantificando a intercepção da PAR directa e da PAR difusa.

Para caracterizar a vegetação herbácea, que se desenvolve sob e fora da influência das copas, teve-se em consideração:

- * a variação anual da fitomassa aérea e subterrânea, estimando-se a sua produtividade. Procedeu-se ainda, ao cálculo de índices estruturais, com base na determinação de pesos e áreas dos componentes da vegetação.
- * a estrutura vertical do coberto, atendendo à estratificação da fitomassa e aos índices de área dos seus componentes e ainda, à inclinação das folhas em cada estrato.
- * o regime da PAR, relacionando a intercepção da radiação com a estratificação dos componentes funcionais do coberto, quer a nível de área, quer de peso.
- * a composição química, mineral e orgânica, da fitomassa aérea e subterrânea.
- * o processo de decomposição da fitomassa aérea e dinâmica de libertação/imobilização de nutrientes.

Este trabalho foi estruturado em cinco capítulos. Na presente **Introdução**, referem-se aspectos relacionados com a exploração de sistemas agro-florestais, salientando o papel do coberto arbóreo na modificação das condições microclimáticas (teor de humidade e regime de radiação) e pedológicas na sua área de influência. Analisaram-se ainda, as relações entre o coberto arbóreo e a vegetação herbácea. Apresentam-se também, neste capítulo, os objectivos do presente trabalho e a forma como ele foi organizado.

No capítulo 2 (**Área de Estudo**) caracteriza-se a área de estudo, destacando aspectos da sua localização geográfica, clima e índices bioclimáticos, geologia, solos, agrupamentos vegetais e florísticos.

O capítulo 3 (**Metodologias**) contempla a descrição dos métodos empregues na execução deste trabalho, subdivididos em métodos de amostragem e determinação, laboratoriais, analíticos, de cálculo e tratamento estatístico.

No capítulo seguinte (**Resultados e Discussão**) apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos durante os estudos experimentais, salientando dois aspectos principais:

- a acção dos sobreiros na modificação das condições na área de influência das suas copas pelo fluxo de nutrientes e matéria orgânica (produção e decomposição da folhada) e a caracterização das áreas sob e fora da influência das copas em função do teor de humidade, valores de pH, teor em nutrientes e matéria orgânica do solo e do regime da PAR;

- a caracterização da vegetação herbácea, na sua componente aérea e subterrânea, que se desenvolve sob e fora da influência das copas, considerando os seguintes parâmetros: composição florística e abundância de grupos taxonómicos, produtividade, estrutura do coberto, regime da PAR, composição química (teor em nutrientes e materiais orgânicos) e dinâmica da libertação de nutrientes.

No último capítulo (**Considerações Finais**) tecem-se considerações conclusivas sobre a influência dos sobreiros na modificação das condições microclimáticas e pedológicas sob a sua copa, bem como, sobre o papel dessas condições nas características e produtividade da vegetação herbácea.

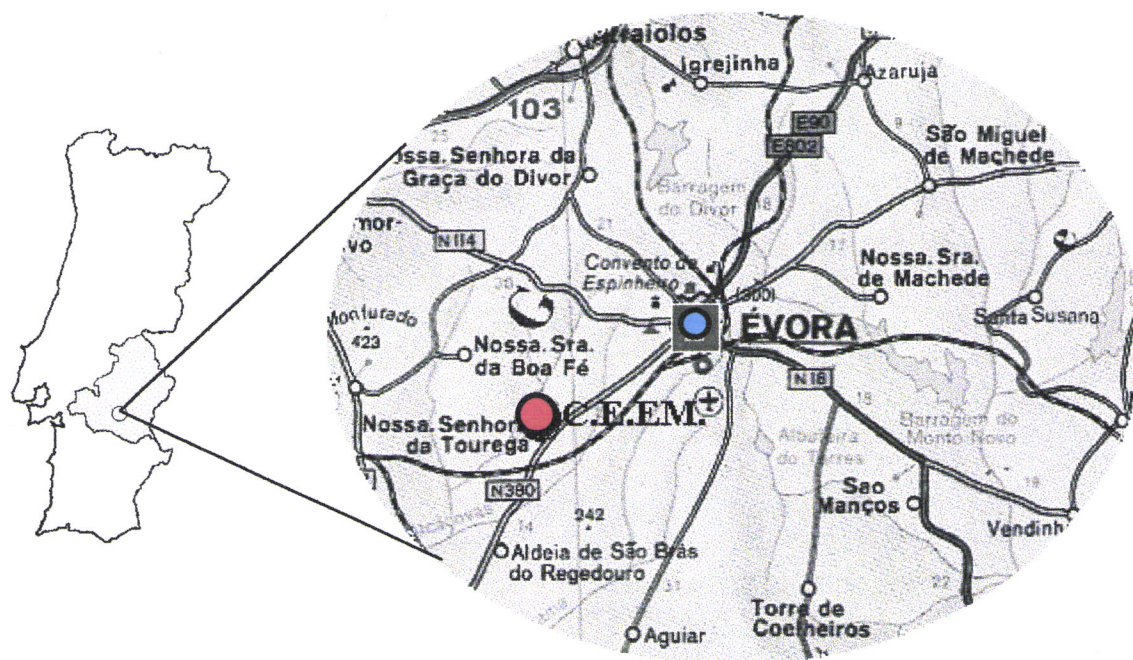
2. ÁREA DE ESTUDO

2.1. LOCALIZAÇÃO

Os estudos desenvolvidos no presente trabalho decorreram na área afecta ao Centro de Estudos e Experimentação da Mitra (C.E.E.M.) da Universidade de Évora (UE), anteriormente designada por Herdade da Mitra (Mitra). A escolha deste local para efectuar os estudos e ensaios de campo, resultou de se encontrarem aí condições necessárias para implementar os trabalhos, quer a nível da vegetação existente, quer no que se refere a apoios logísticos que poderiam ser prestados pelos Serviços Técnicos da UE.

O C.E.E.M. situa-se no Concelho de Évora, na freguesia de N.^a Sr.^a da Tourega, perto da povoação de Valverde, a cerca de 10 km W-SW da cidade de Évora (Figura 1). Geograficamente encontra-se a 38° 32' de latitude Norte, a 8° 01' de longitude W, a 240 m de altitude (carta militar nº 459, SCEP, 1976).

Relativamente à situação topográfica, o C.E.E.M. encontra-se numa peneplanície na periferia da Serra de Monfurado. As áreas onde o estudo decorreu estão localizadas numa encosta de pendor dominante a NW que apresenta um relevo aplanado-ondulado de declive entre 5% e 16%.



Escala 1 : 500 000

Figura 1. Localização geográfica da área de estudo, destacando Évora e o C.E.E.M.

Os ensaios de campo foram realizados em duas áreas distintas do C.E.E.M. (Figura 2), por especificidades dos próprios ensaios. Globalmente, estas áreas inserem-se numa zona de montado “aberto” em que a paisagem é dominada por sobreiros e azinheiras. Na área **A**, a vegetação arbórea é constituída por sobreiros e azinheiras, ocorre um estrato arbustivo dominado por *Cistaceae*, predominando as herbáceas em zonas de clareira. Na área **B** a vegetação arbórea é dominada por sobreiros, encontrando-se os arbustos circunscritos às zonas de afloramentos rochosos; a vegetação herbácea surge mais desenvolvida, distribuindo-se por áreas sob e fora da influência das copas. Nesta área foram instaladas estruturas metálicas quadrangulares (gaiolas) para preservar a vegetação do pastoreio por gado caprino. No ponto 2.3. descreve-se a vegetação das áreas estudadas de forma mais pormenorizada.

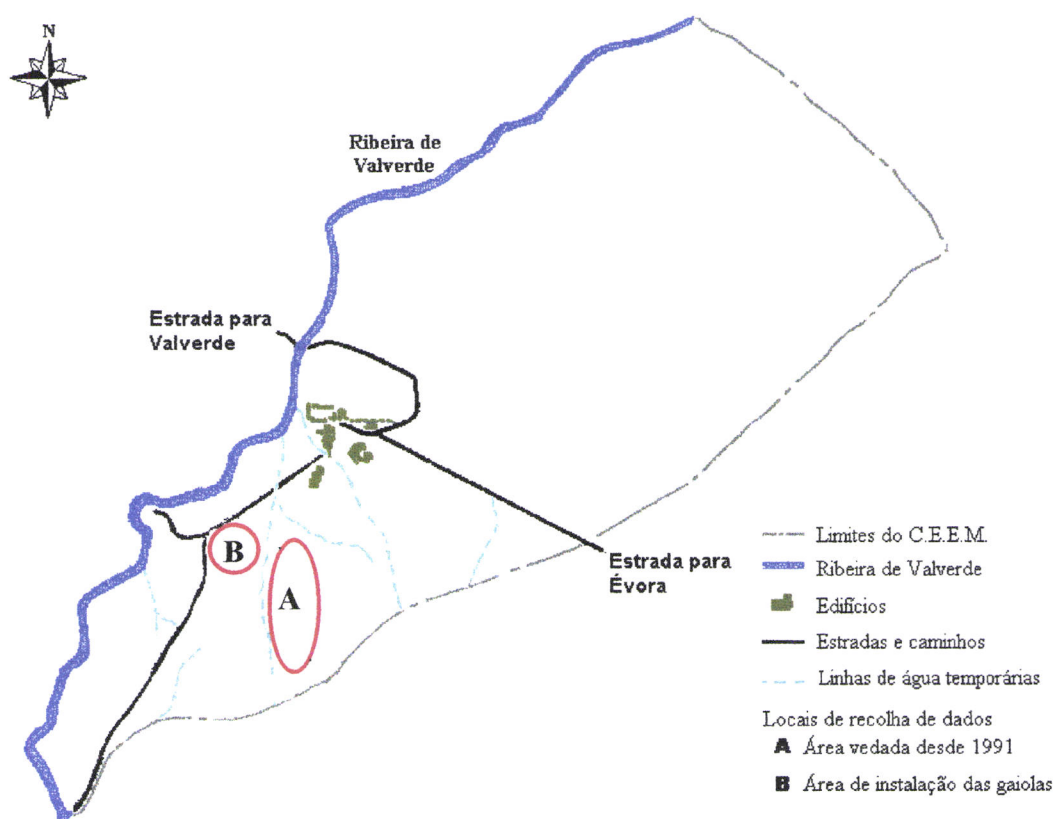


Figura 2. Limites, caminhos e linhas de água temporárias do Centro de Estudos e Experimentação da Mitra (C.E.E.M.). Estão assinaladas as zonas onde se efectuaram os trabalhos experimentais (**A**, **B**), escala 1: 22 500.

2.2. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL

2.2.1. CLIMA E ÍNDICES BIOCLIMÁTICOS

2.2.1.1. CLIMA

De acordo com a classificação de Köppen, a área estudada encontra-se numa região de clima mesotérmico húmido, com Verão seco e muito quente. Com base nos valores da evapotranspiração potencial, a classificação de Thornthwaite define-o como um clima 2Q Mesotérmico ou Temperado (com eficácia térmica pequena ou nula durante o Verão) e Sub-Húmido (com grande défice de água no Verão) (Reis & Gonçalves, 1987).

A caracterização geral do clima da Mitra tem por base as médias (30 anos) de elementos termo-pluviométricos da Estação Meteorológica da Mitra do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG), publicadas em Mendes *et al.* (1991). Para caracterizar especificamente os anos de 1994 a 1999, durante os quais decorreram os estudos, foram usados os registos da Estação Meteorológica do Centro de Geofísica (EMCG) da UE.

Não existindo a totalidade de registos dos parâmetros climáticos na EMCG da Mitra, para os seis anos de estudo, o cálculo das médias mensais e anuais foi efectuado com alguns registos da temperatura – Janeiro e Fevereiro de 1994; Fevereiro, Outubro e Novembro de 1995 – e da precipitação – Janeiro e Fevereiro de 1994 e Fevereiro de 1995 – da Estação Meteorológica de Évora do INMG. As médias mensais e anuais da humidade relativa do ar foram calculadas apenas para o período de 1996 a 1999, pelo motivo acima referido.

A descontinuidade dos registos da temperatura da superfície do solo na EMCG foi ultrapassada extrapolando-se os valores de Julho de 1995 a Junho de 1998, a partir dos valores da temperatura do solo a 30 cm de profundidade. Para tal, obtiveram-se duas equações lineares, por método de regressão, uma para o período de Outono-Inverno e outra para o período Primavera-Verão. Os valores da humidade relativa do ar de Fevereiro, Setembro, Outubro e Novembro de 1995 foram ajustados apenas para a Figura 5, como o ponto mais

provável entre os valores registados imediatamente antes e depois. O valor da temperatura da superfície do solo de Outubro de 1995 foi estimado pelo método descrito anteriormente.

Com base nos valores da normal climatológica 1951-80 (NC51-80) é possível enquadrar o clima da Mitra no tipo Mediterrânico, com uma temperatura do ar média anual de 15,4 °C e uma precipitação média de 664,6 mm por ano (Quadro 1).

A precipitação ocorreu maioritariamente na época Outono-Inverno (77% da precipitação total ocorreu entre Outubro e Março), tendo sido Janeiro (97,7 mm) o mês mais chuvioso e Julho e Agosto (3,1 mm) os meses mais secos.

Quadro 1. Valores de temperatura, precipitação e humidade relativa da Estação Meteorológica da Mitra relativas à normal climatológica 1954-80 e ao período 1994-99.

	1951 a 1980	1994 a 1999
Precipitação (mm)		
anual	664,6	671,6
máxima mensal	97,7 (Janeiro)	133,1 (Dezembro)
mínima mensal	3,1 (Julho e Agosto)	4,8 (Junho)
Temperaturas (°C)		
média anual	15,4	17,9
médias das mínimas do mês mais frio	3,8 (Janeiro)	6,6 (Fevereiro)
médias das mínimas do mês mais quente	14,9 (Agosto)	16,0 (Julho)
médias das máximas do mês mais frio	13,4 (Janeiro)	16,2 (Janeiro)
médias das máximas do mês mais quente	31,3 (Agosto)	36,0 (Julho)
máxima absoluta	41,6 (Julho)	46,1 (Julho)
mínima absoluta	-7,1 (Janeiro e Fevereiro)	-5,6 (Dezembro)
Humidade relativa (%)		
média anual	75,1	62,3 (1996-1999)

As temperaturas mais elevadas registaram-se nos meses de Verão, com valores médios mensais sempre superiores a 20 °C, tendo sido Agosto o mês mais quente (temperatura média de 23,1 °C). Entre Dezembro e Fevereiro registaram-se as temperaturas mais baixas, tendo sido Janeiro o mês mais frio (temperatura média de 8,6 °C). Ocorreram em média 13,5 dias por ano com temperaturas negativas, repartidos entre Janeiro, Fevereiro, Março, Novembro e Dezembro.

A temperatura máxima absoluta registou-se em Julho (41,6 °C) e a mínima absoluta em Janeiro e Fevereiro (-7,1 °C). A humidade relativa do ar média anual foi de 75%, tendo sido máxima em Janeiro (80%) e mínima em Julho (49%).

Os valores registados para o período 1994-99 (P94-99) afastam-se dos descritos anteriormente para a NC51-80, por um lado por se basearem em registos de apenas seis anos, por outro por se terem verificado nos últimos anos valores de temperatura algo acima da média.

Os registos da precipitação ocorrida no P94-99 enquadram-se nos valores da NC51-80 (Quadro 1), tanto em relação ao valor médio anual, como à variação sazonal, mantendo-se a época Outono-Inverno como a mais pluviosa (76% da precipitação total do P94-99 ocorreu entre Outubro e Março). No entanto, a distribuição das chuvas dentro da estação Outono-Inverno foi diferente, concentrando-se, entre 1994-99, nos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro. Os meses de maior e menor pluviosidade foram diferentes para os dois períodos de registo de valores (Quadro 1), tendo sido Dezembro o mês mais pluvioso (133,1 mm) e Junho o mês mais seco (4,8 mm) para o P94-99. É de assinalar o decréscimo da pluviosidade no P94-99 para os meses de Fevereiro-Março (86,2 mm) em relação à NC51-80 (183,5 mm). Verificou-se a tendência contrária para os meses de Maio – P94-99 (75,8 mm) e NC51-80 (42,9 mm) – e de Agosto-Setembro – P94-99 (53,1 mm) e NC51-80 (30,8 mm).

A temperatura média anual do ar no P94-99 (17,9 °C) foi superior à da NC51-80, tendo-se verificado o mesmo para a temperatura máxima anual – P94-99 (25,5 °C) e NC51-80 (21,5 °C) – e a temperatura mínima anual – P94-99 (11,1 °C) e NC51-80 (9,2 °C). O mês de Julho foi o mais quente no P94-99 (máxima absoluta 46,1 °C) e Janeiro manteve-se como o mês mais frio, para ambos os períodos de registo, mas a mínima absoluta no P94-99 registou-se em Dezembro (-5,6 °C).

A humidade relativa do ar no P94-99 (média anual 62%) foi inferior à da NC51-80, apresentando os valores mínimos e máximos, respectivamente, nos mesmos meses de Agosto (60%) e de Janeiro (89%).

O diagrama ombrotérmico correspondente à NC51-80 (Figura 3) evidencia um período seco bem definido, de Junho a Setembro (característico do clima Mediterrânico), em que a precipitação foi inferior ao dobro da temperatura. A precipitação mensal não atingiu valores superiores a 100 mm. No diagrama ombrotérmico correspondente ao P94-99 (Figura 4) é evidente um período seco (Junho a Setembro), localizando-se a linha da temperatura acima da do diagrama anterior. A precipitação ultrapassou os 100 mm nos meses de Janeiro, Novembro e Dezembro, apresentando em Março um valor muito baixo em relação ao diagrama da NC51-80 e em Maio um valor muito elevado.

Da análise efectuada é possível concluir que os anos de 1994 a 1999 foram mais quentes e secos do que os de 1951 a 1980, embora os valores da pluviosidade média anual tenham sido idênticos. A precipitação ocorrida no P94-99 concentrou-se nos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro e a humidade relativa do ar média anual foi inferior à registada para a NC51-80.

As médias dos parâmetros climáticos, correspondentes aos anos do período de estudo (Quadro 2) apresentaram diferenças marcantes entre si e entre os valores do P94-99 e da NC51-80.

De 1994 a 1998 a temperatura do ar média anual foi superior à da NC51-80, tendo sido a temperatura média do ar de 1999 semelhante à média anual de 30 anos. As temperaturas do ar máximas anuais, de 1994 a 1999, foram todas superiores à da NC51-80, salientando-se 1997 e 1998 por terem apresentado valores muito acima da média. As temperaturas do ar mínimas anuais, de 1994 a 1997, foram superiores à da NC51-80, e as de 1998 e 1999 inferiores à média de 30 anos. As temperaturas médias da superfície do solo rondaram os 18 °C, tendo-se registado os valores mais elevados em 1997 e os mais baixos em 1999. Não se possuem registos da temperatura da superfície do solo para a NC51-80, mas a média das temperaturas do solo a 10 cm de profundidade entre 1956 e 1965 foi de 16,7 °C.

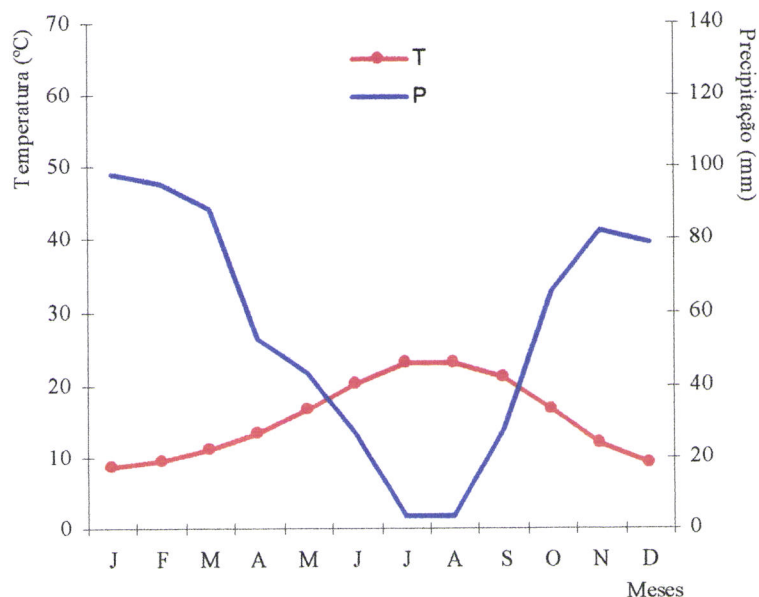


Figura 3. Diagrama ombrotérmico da estação meteorológica da Mitra com as médias mensais de 30 anos (1951 a 1980) da temperatura média do ar (T) e da precipitação (P). Existe um período seco, quando $P < 2T$.

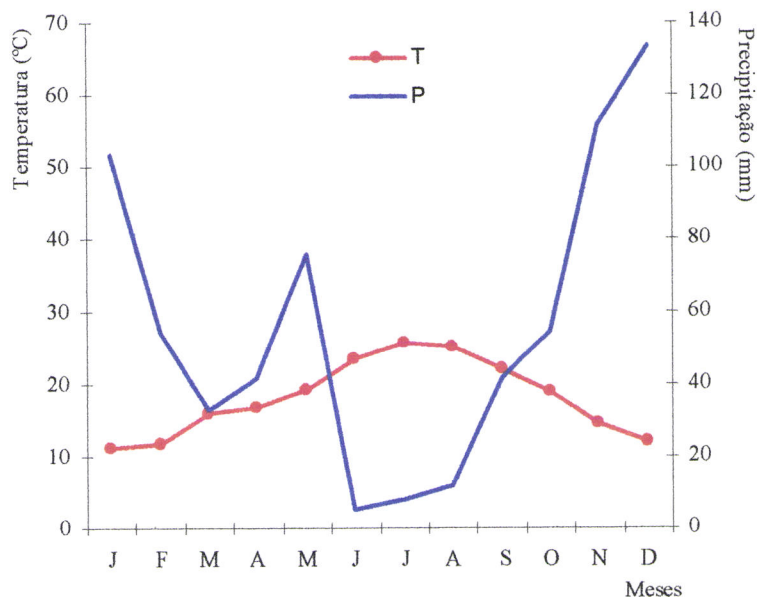


Figura 4. Diagrama ombrotérmico da estação meteorológica da Mitra, com as médias mensais de 6 anos (1994 a 1999) da temperatura média do ar (T) e da precipitação (P). Existe um período seco, quando $P < 2T$ e um período muito húmido quando $P > 100$ mm.

Globalmente, o P94-99 registou valores de temperaturas do ar (médias e máximas) anuais (Quadro 2) superiores às da NC51-80, tendo contribuído para esse facto, de uma forma sistemática, o aumento das temperaturas mensais no Inverno e na Primavera, e no caso das temperaturas máximas também ao aumento da temperatura do mês de Junho.

Quadro 2. Valores médios de temperatura, precipitação, humidade relativa e temperatura da superfície do solo para vários períodos de registo. *(registos de 1995 a 1999) **(registos de 1996 a 1999)

Períodos de Registo	Temperaturas Médias Anuais (°C)				Precipitação Média Anual (mm)	Humidade Relativa Média Anual (%)
	-----Do ar-----			Da superfície do solo		
	Média	Máxima	Mínima			
NC51-80	15,4	21,5	9,2	—	665	75
P94-99	17,9	25,5	11,1	18,1*	672	62**
1994	18,1	24,8	12,1	—	500	—
1995	18,7	25,3	13,0	18,4	715	—
1996	18,3	25,1	12,4	18,1	945	65
1997	19,0	27,5	11,7	19,6	1041	64
1998	17,7	27,2	8,6	18,0	364	61
1999	15,6	23,2	8,6	16,1	464	59

Os valores anuais da precipitação ocorrida em 1995, 1996 e 1997 (Quadro 2 e Figura 5) foram superiores ao valor médio da NC51-80 e os valores registados em 1994, 1998 e 1999 inferiores, tendo sido 1997 o ano mais pluvioso e 1998 o mais seco. Nos anos (entre 1994 e 1999) em que os valores da precipitação se situaram acima da média da NC51-80, houve um aumento relevante da precipitação ocorrida nos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro. No entanto, para a maioria dos meses, os valores da precipitação oscilaram ao longo dos anos, ora superiores, ora inferiores à média. Apenas em Fevereiro, Março e Junho, do P94-99, os valores da precipitação foram substancial e sistematicamente reduzidos, mais de 50%, em relação aos valores médios registados para esses meses durante o período de 1951 a 1980.

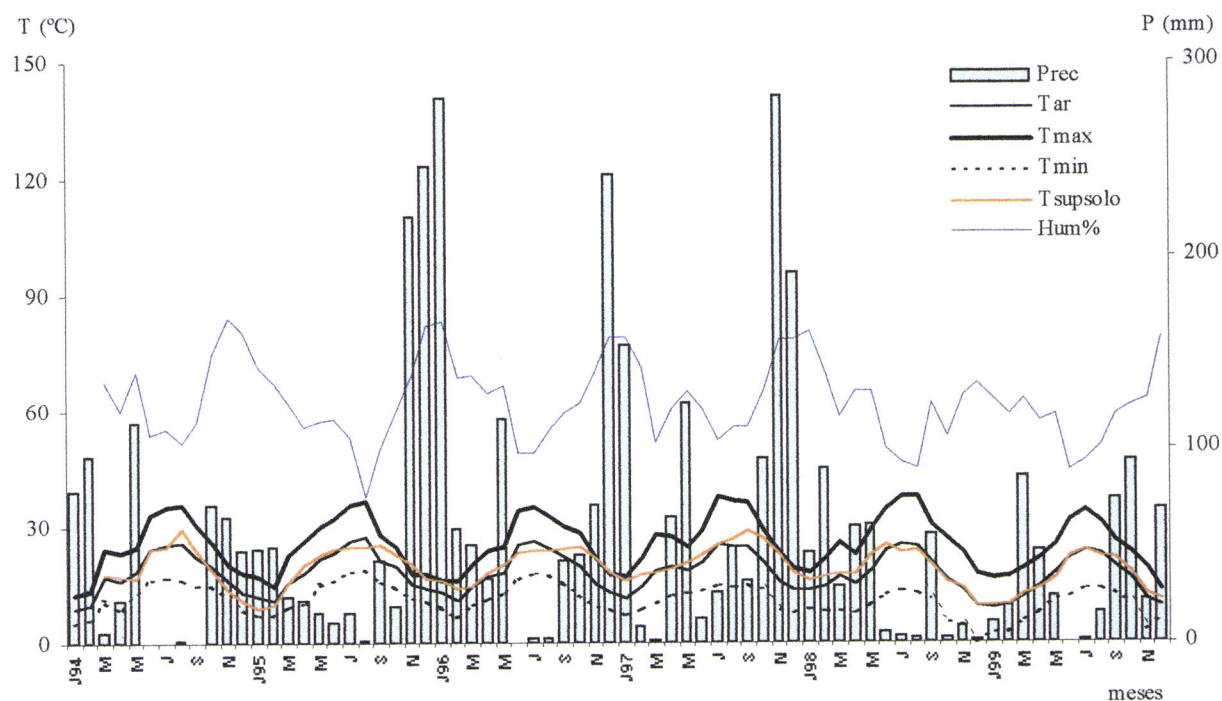


Figura 5 – Valores mensais da precipitação (Prec), das temperaturas do ar máximas (Tmax), médias (Tar), mínimas (Tmin), da temperatura da superfície do solo (Tsupsolo) e da humidade relativa do ar (Hum%) (que se lê no eixo da temperatura) para a região da Mitra, de Janeiro de 1994 a Dezembro de 1999.

O período seco ($P < 2T$) registado para o P94-99 e para a NC51-80 foi idêntico – Junho a Setembro – (Figuras 3 e 4), no entanto, excepto para 1994 e 1996, esses períodos, não se limitaram aos meses de Verão; por exemplo, em 1995 a fase seca prolongou-se de Março a Outubro. Nos outros anos ocorreram dois períodos secos: em 1997, de Fevereiro a Março e de Junho a Setembro; em 1998, de Junho a Agosto e de Outubro a Dezembro; em 1999 de Janeiro a Fevereiro e de Maio a Agosto.

A média anual da humidade relativa do ar foi inferior em todos os anos de estudo (de 1994 a 1999) (Quadro 2) comparada com o valor médio da NC51-80; 1996 registou o valor mais elevado e 1999 o valor mais baixo. Os registos mensais da humidade relativa do ar do P94-99 foram todos inferiores às médias mensais da NC51-80, em Janeiro registaram-se os valores mais elevados, tanto para o P94-99 (77%) como para a NC51-80 (89%), tendo-se verificado os valores mais baixos em Junho (P94-99: 49%) e Agosto (NC51-80: 60%).

2.2.1.2. ÍNDICES BIOCLIMÁTICOS

Calcularam-se os índices bioclimáticos adaptados por Rivas-Martínez (1995) e, Rivas-Martínez *et al.* (1999) para a NC51-80 e para o P94-99 (Quadro 3). Segundo a classificação bioclimática da Terra de Rivas-Martínez (1995), os valores do índice ombrotérmico estival quadrimestral ($Iosc < 2$) conjugado com a existência de um período seco ($P < 2T$) superior a dois meses (Figuras 3 e 4), enquadram a área da Mitra no Macrobioclima Mediterrânico. Os valores do índice ombrotérmico anual ($Io > 2$) e do índice de continentalidade ($Ic < 21$) indicam que a Mitra se insere no Bioclima Pluvioestacional-Oceânico. Os valores de Io , que relacionam a precipitação com a temperatura média (Rivas-Martínez *et al.*, 1999), apontam para um ombrotipo entre seco a subhúmido, no caso do Io calculado para a NC51-80, e para um ombrotipo seco superior para o Io estimado para o P94-99, evidenciando condições de maior secura para os anos de 1994 a 1999 do que para o período de 1951 a 1980.

Também os valores do índice de termicidade (It) calculados para a NC51-80 diferiram dos determinados para o P94-99, enquadrando-se os primeiros no termotipo MesoMediterrânico Inferior ($280 < It < 350$) e os segundos no termotipo Termomediterrânico Inferior ($400 < It < 450$) (Rivas-Martínez *et al.*, 1999), evidenciando um aumento das temperaturas do ar para 1994-99 em relação à normal climatológica de 30 anos.

Resumindo, a caracterização do clima da Mitra com base no P94-99 aponta para um clima ligeiramente mais quente e seco do que a efectuada a partir dos registos da NC51-80.

Quadro 3. Índices bioclimáticos para a Mitra relativos à normal climatológica 1951-80 e ao período 1994-99.

	1951 a 1980	1994 a 1999
Índice ombrotérmico anual (Io)	3,6	3,1
Índice ombrotérmico estival quadrimestral ($Iosc$)	0,9	1,1
Índice de continentalidade (Ic)	14,5	13,9
Índice de termicidade (It)	326	420

2.2.2. GEOLOGIA E SOLOS

Nas áreas de estudo o substrato litológico é constituído por gnaisses granitóides e migmatitos, são frequentes os afloramentos rochosos, orientados maioritariamente no sentido N-S (Aguilar & Grilo, 1975). Apesar de existirem declives acentuados as terras baixas não formam superfícies alagadas, pois a rocha-mãe possui uma textura que facilita a drenagem (Carta Geológica de Portugal, 1:50.000).

Os solos mais representados nas áreas de estudo, segundo a classificação portuguesa, são os Solos Litólicos Não-Húmicos Normais e os Litossolos (Cardoso, 1974), segundo o sistema da FAO/Unesco incluem-se nos Leptossolos e Cambissolos (FAO, 1988).

A definição do tipo de solos existentes na área estudada baseou-se na Memória Descritiva da Carta do “Esboço dos Solos da Mitra” (escala 1:5 000) (Aguilar & Grilo, 1975). Nas áreas de estudo, o solo é composto por um mosaico irregular de diversas séries de solos.

Na área **A** (Figura 2) existem dois tipos de solo dominantes, na zona Norte dominam os Solos Litólicos normais de gnaisses e na zona Sul os Solos Litólicos normais de gnaisses e os Litossolos de gnaisses, com alguns afloramentos rochosos isolados.

Na área **B** predominam os Solos Litólicos normais de gnaisses com Litossolos de gnaisses, existindo alguns afloramentos rochosos.

2.2.3. VEGETAÇÃO

Do ponto de vista biogeográfico a área em estudo situa-se no Reino Holártico, região Mediterrânea, província Luso-Estremadurense (Braun-Blanquet, 1965).

As florestas perenifólias esclerofíticas originais foram transformadas pelo Homem há centenas de anos (Cruz, 1986) dando lugar aos “montados” de sobro (*Quercus suber* L.) e azinho (*Q. rotundifolia* Lam.), sob os quais se desenvolvem prados semeados ou naturais, constituídos por vegetação herbácea, muitas vezes sujeitos a pastoreio. As zonas mais degradadas são dominadas por estevais (*Cistus ladanifer* L.) e sargaçais (*Cistus salvifolius* L.).

Na área de estudo, em que o substrato silicícola predomina, a vegetação potencial climácica pertence à série *Pyro bourgaeanae-Quercetum rotundifoliae sigmetum* (Rivas-Martínez *et al.*, 1990). Este sistema de rendimento agro-silvo-pastoril foi degradando a paisagem que apresenta traços da vegetação potencial, mas é dominada por zonas de matos altos – carrascal – pertencentes à associação *Hyacintoido-Quercetum cocciferae* (Capelo, 1996) e sargaçais (*Cisto-Lavanduletea*). Existem ainda formações herbáceas, originalmente áreas de pousio ou terrenos incultos, actualmente constituídas como zonas de pastagem, dominadas por terófitos e alguns geófitos (*Tuberarietea guttatae*). Com menor expressão, existem antigas áreas de pousio, que resultaram de rotações de culturas arvenses de sequeiro, nas quais surgem espécies infestantes dessas culturas (*Secalinetalia*) e herbáceas ruderais pertencentes à Classe *Stellaria Mediae*.

O montado onde se realizaram os estudos é um povoamento irregular, composto por zonas mais densamente arborizadas e por árvores isoladas e clareiras, com uma densidade média de 40 árvores por hectare. Os sobreiros são árvores adultas, com um diâmetro médio de 0,6 m DAP* de 0,8 m DB**, com uma altura média de 9 m e um raio médio da copa de 6 m.

* - Diâmetro à altura do peito, a cerca de 1,3 m do solo

** - Diâmetro basal

Para facilitar a discussão, utilizar-se-ão as iniciais ASC e AFC, para definir, respectivamente, as áreas sob a influência das copas e as áreas fora da influência das copas, quer o termo seja usado no singular ou no plural.

As espécies assinaladas nos locais de amostragem (Quadro 4) são na sua maioria anuais (85%). Muitas infestantes de culturas ou ruderais são comuns em sítios secos, arenosos e pobres. As famílias predominantes, quer pelo número de espécies, quer pelo número de indivíduos, são por ordem decrescente de importância: as *Asteraceae*, as *Poaceae*, as *Fabaceae* e as *Caryophyllaceae*.

Ao longo dos três anos de estudo distinguiram-se quatro espécies pela elevada cobertura apresentada, tanto nas ASC como nas AFC, *Geranium molle* L., *Ornithopus compressus* L., *O. pinnatus* (Miller) Druce e *Rumex bucephalophorus* L.. Estas espécies, no seu conjunto, representaram, muitas vezes, mais de 30% da cobertura das Dicotiledóneas presentes. Entre as Monocotiledóneas, quase todas pertencentes à família *Poaceae*, predominaram várias espécies dos géneros *Bromus*, *Lolium* e *Vulpia* e ainda as espécies *Cynosurus echinatus* L. e *Hordium murinum* L..

Não se quantificaram as variações florísticas entre as áreas sob e fora da influência das copas, encontrando-se a maioria das espécies (Quadro 4) presentes nos dois cobertos, exceptuando as situações de *Muscari comosum* (L.) Miller, *Chamaemelum nobile* (L.) All e *Ranunculus repens* L. assinaladas exclusivamente nas ASC e *Tuberaria guttata* (L.) Fourr. que apenas surgiu nas AFC. Outras espécies, apresentaram coberturas muito superiores numa das áreas de amostragem, *Rumex bucephalophorus* L. surgiu preferencialmente nas AFC e *Rumex conglomeratus* Murray nas ASC, distribuindo-se de acordo com as suas preferências de habitat. Do elenco florístico presente no Quadro 4 apenas dez espécies são vivazes e apresentaram nas ASC. As maiores diferenças entre os cobertos residiram na estrutura e morfologia dos indivíduos, que apresentaram maiores dimensões, um hábito prostrado e coberturas de 65-70% nas ASC, e menores dimensões, mais apumados e coberturas de 98-100% nas AFC.



Quadro 4. Lista das classes, famílias e espécies (Franco, 1974, 1984; Tutin *et al.*, 1990, 1991, 1992, 1996, 1996a) mais representadas nas áreas sob (ASC) e fora (AFC) da influência das copas de sobreiro, durante os três anos de estudo. Referem-se para cada espécie, características dos seus ciclos de vida e o seu grau de abundância.

△△ - muito abundante; △ - abundante; ∇ - pouco abundante, ★ - esporádica e ● - ausente

Classe/ Família	Espécies	ciclo de vida	AFC	ASC
MAGNOLIOPSIDA (DICOTILEDÓNEAS)				
Polygonaceae				
	<i>Rumex angiocarpus</i> Murb.	vivaz	★	∇
	<i>Rumex conglomeratus</i> Murray	vivaz	★	∇
	<i>Rumex bucephalophorus</i> L.	anual	△△	△
Caryophyllaceae				
	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	anual	∇	△
	<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.	anual	∇	★
	<i>Illecebrum verticillatum</i> L.	anual	★	★
	<i>Spergula arvensis</i> L.	anual	∇	★
	<i>Silene gallica</i> L.	anual	△	△
	<i>Petrorhagia nanteuilii</i> (Burnat) P.W.Ball & Heywood	anual	★	★
Ranunculaceae				
	<i>Ranunculus repens</i> L.	vivaz	●	△
Cruciferae				
	<i>Cardamine hirsuta</i> L.	anual	∇	∇
	<i>Hirschfeldia incana</i> (L.) Lagrèze-Forssat	bienal	★	∇
	<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	anual	★	★
Resedaceae				
	<i>Reseda media</i> Lag.	anual	∇	∇
Fabaceae (Leguminosae)				
	<i>Biserrula pelecimus</i> L.	anual	∇	∇
	<i>Vicia sativa</i> L.	anual	★	∇
	<i>Lathyrus angulatus</i> L.	anual	∇	★
	<i>Medicago nigra</i> (L.) Krockner	anual	∇	★
	<i>Trifolium resupinatum</i> L.	anual	∇	∇
	<i>Trifolium arvense</i> L.	anual	∇	★
	<i>Trifolium subterraneum</i> L.	anual	∇	∇
	<i>Ornithopus compressus</i> L.	anual	△△	△△
	<i>Ornithopus sativus</i> Brot.	anual	∇	∇

Classe/ Família	Espécies	ciclo de vida	AFC	ASC
Fabaceae (Leguminosae)				
	<i>Ornithopus pinnatus</i> (Miller) Druce	anual	△△	△△
	<i>Coronilla repanda</i> (Poiret) Guss.	anual	★	✓
Geraniaceae				
	<i>Geranium molle</i> L.	anual	△	△
	<i>Geranium purpureum</i> Vill.	anual	★	★
	<i>Erodium botrys</i> (Cav.) Bertol.	anual	✓	✓
Cistaceae				
	<i>Tuberaria guttata</i> (L.) Fourr.	anual	✓	•
Primulaceae				
	<i>Anagallis arvensis</i> L.	anual	✓	✓
Rubiaceae				
	<i>Sherardia arvensis</i> L.	anual	✓	★
Boraginaceae				
	<i>Echium plantagineum</i> L.	anual	✓	✓
Scrophulariaceae				
	<i>Linaria spartia</i> (L.) Willd.	anual	✓	★
	<i>Veronica arvensis</i> L.	anual	✓	★
	<i>Bellardia trixago</i> (L.) All.	anual	✓	★
Plantaginaceae				
	<i>Plantago coronopus</i> L.	anual ou vivaz	✓	✓
Asteraceae (Compositae)				
	<i>Logfia gallica</i> (L.) Cosson Et Germ.	anual	★	★
	<i>Chamaemelum mixtum</i> (L.) All.	anual	△	△
	<i>Chamaemelum nobili</i> (L.) All.	vivaz	•	✓
	<i>Coleostephus myconis</i> (L.) Reichenb. fil.	anual	△	△
	<i>Senecio vulgaris</i> L.	anual	★	✓
	<i>Tolpis barbata</i> (L.) Gaertner	anual	△	✓
	<i>Hedypnois cretica</i> (L.) Dum.-Courset	anual	✓	★
	<i>Hypochaeris glabra</i> L.	anual ou vivaz	✓	✓
	<i>Leontodon taraxacoides</i> (Vill.) Mérat	anual ou vivaz	✓	✓
	<i>Picris echioides</i> L.	anual ou bienal	✓	★
	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	anual ou bienal	★	✓
	<i>Crepis capillaris</i> (L.) Wallr.	anual ou bienal	✓	★
			★	✓

Classe/ Família	Espécies	ciclo de vida	AFC	ASC
LILIOPSIDA (MONOCOTILEDÓNEAS)				
Liliaceae				
	<i>Muscari comosum</i> (L.) Miller	vivaz	●	★
Juncaceae				
	<i>Juncus bufonius</i> L.	anual	★	★
Poaceae (Graminea)				
	<i>Lolium perenne</i> L.	vivaz	★	△
	<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	anual ou bienal	▼	▼
	<i>Vulpia geniculata</i> (L.) Link	anual	▼	△
	<i>Vulpia myuros</i> (L.) C. C. Gmelin	anual	△	△
	<i>Dactylis glomerata</i> L.	vivaz	★	▼
	<i>Cynosurus echinatus</i> L.	anual	▼	▼
	<i>Brisa maxima</i> L.	anual	★	△
	<i>Brisa minor</i> L.	anual	▼	▼
	<i>Bromus rigidus</i> Roth	anual	△	△
	<i>Aegilops geniculata</i> Roth	anual	▼	★
	<i>Hordeum murinum</i> L.	anual	△	△
	<i>Avena barbata</i> Pott Ex Linx	anual	▼	▼
	<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) Beauv. Ex J. Et C. Presl.	vivaz	★	▼
	<i>Holcus setiglumis</i> Boiss. Et Reuter	anual	★	★
	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	vivaz	★	▼

3. METODOLOGIAS

3.1. DETERMINAÇÕES E AMOSTRAGENS

3.1.1. CARACTERÍSTICAS E ACÇÃO DAS COPAS DE SOBREIRO

3.1.1.1. FENOLOGIA FOLIAR

Foram seleccionados cinco sobreiros, na área A (Figura 2), com cerca de três metros de altura, nos quais se marcaram dois ramos com exposições diferentes. De Novembro de 1995 a Abril de 1997 registou-se o desenvolvimento de 10 ramos de sobreiros, anotando-se quinzenalmente as alterações ocorridas em cada ramo no respeitante ao número de folhas existentes, folhas caídas e folhas recém formadas. Pontualmente foram colhidas folhas jovens e adultas, consoante a disponibilidade, para se proceder a análises químicas.

3.1.1.2. PRODUÇÃO DE FOLHADA

A folhada foi quantificada a partir de 40 colectores cónicos (“littertraps”) instalados sob a copa de cinco sobreiros adultos, que apresentavam em média 10 m de altura e 0,65 m de diâmetro a 1,30 m de altura da base, na área A (Figura 2). Os colectores eram constituídos por um aro metálico de 0,5 m de diâmetro e uma rede de nylon com 1 m de altura, malha de 2 mm, que envolvia o aro formando um cesto; este foi fechado na extremidade inferior por um cordel. Os colectores ficaram suspensos, apoiados em três estacas de madeira (Figura 6), orientados segundo os quatro pontos cardeais em torno do tronco de cada árvore, dois em cada orientação, um deles a 2 m e outro a 4 m de distância do tronco. A área total dos colectores foi de 7,85 m², o que correspondeu a 1,57 m² por árvore. A folhada foi colhida mensalmente de Março de 1994 a Dezembro de 1998.

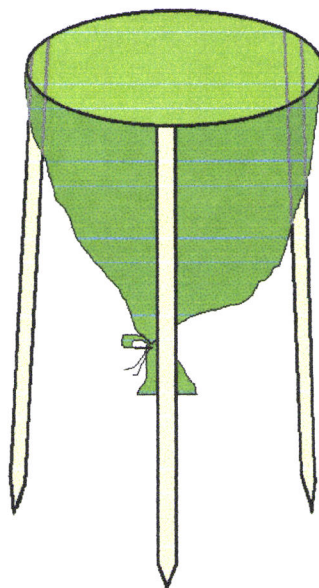


Figura 6. Colector ("littertrap") (1:14).

3.1.1.3. DECOMPOSIÇÃO E DINÂMICA DE LIBERTAÇÃO DOS NUTRIENTES DAS FOLHAS

A decomposição das folhas de sobreiro foi avaliada pela técnica das saquetas de decomposição ("litterbags") (Bocock & Gilbert, 1957). Foram alvo deste estudo, as folhas da folhada colhidas nas épocas de maior intensidade de queda e menor quantidade de precipitação – de Março a Abril de 1994. Deste conjunto de folhas rejeitaram-se as que se apresentavam partidas, danificadas por insectos ou microorganismos e as que sofreram abscisão prematura. As folhas seleccionadas foram secas a 40 °C, deste lote colheram-se cinco amostras para determinação da humidade em relação ao peso seco (80 °C) e outras tantas para análise química. Introduziram-se aproximadamente 2 g de folhas de sobreiro em cada saqueta de nylon, de malha aberta (1 mm), com as dimensões de 150 x 120 mm, e estas foram identificadas com uma etiqueta numerada no seu interior. O peso seco (a 80 °C) exacto de folhas introduzido em cada saqueta foi registado individualmente.

As saquetas foram colocadas na área experimental A (Figura 2), distribuídas sob as copas de quatro indivíduos de *Q. suber*, no dia 10 de Outubro de 1994. Para evitar que se destacassem facilmente, as saquetas de decomposição foram presas ao solo por um prego de

10 cm. Ao longo dos cinco anos de estudo, efectuaram-se catorze amostragens: seis em 1995, três em 1996, duas em 1997, duas em 1998 e uma em 1999. De cada vez foram colhidas dez saquetas.

3.1.1.4. TEOR DE HUMIDADE E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

3.1.1.4.1. Teor de água no solo

Para determinar o teor de humidade do solo, ao longo do período de estudo da vegetação herbácea, procedeu-se à amostragem do solo, por sondagem manual (Figura 9), na área experimental **B** (Figura 2). Em cada área, ASC e AFC, depois de removida a camada orgânica, foram efectuadas seis sondagens estratificadas em profundidade (0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm). Cada amostra de solo, livre de fragmentos orgânicos e rochosos, foi homogeneizada e colocada numa caixa metálica fechada e devidamente identificada.

A periodicidade destas amostragens correspondeu à seguida para a determinação da fitomassa da vegetação herbácea, ou seja, desde o início do período vegetativo até à senescência das herbáceas, nos três anos de estudo.

Para determinar a capacidade de retenção do solo para a água, a diferentes valores de pF, abriram-se na área experimental **B** (Figura 2), em Janeiro de 1997, dois perfis de 30 cm de profundidade e aproximadamente 1,5 m de largura, um na ASC e outro na AFC, e colheram-se amostras de solo às profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm. De cada profundidade foram colhidas 18 amostras, 12 não perturbadas - colhidas com um anel de aço, posteriormente fechado por duas tampas – e outras 6 sem a preocupação de manter a estrutura do solo, as quais foram colocadas em sacos de plástico devidamente identificados.

3.1.1.4.2. Caracterização química do solo

Para determinação dos valores de pH e das concentrações de carbono e azoto e de fósforo e potássio extraíveis do solo, procedeu-se à colheita de amostras pelo método da

sondagem manual (Figura 9), na área experimental **B** (Figura 2). Depois de removida a camada orgânica superficial, efectuaram-se três sondagens em cada uma das áreas, ASC e AFC, a três níveis de profundidade (0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm), uma no início do desenvolvimento vegetativo das herbáceas (Dezembro) e outra no final da época de máximo desenvolvimento da fitomassa (Junho), tanto em 1995 como em 1996.

3.1.1.5. RADIAÇÃO SOB E FORA DA COPA

O estudo do regime da radiação fotossinteticamente activa (PAR), nas ASC e AFC, foi efectuado com um ceptómetro portátil (Sunfleck Ceptometer, SF-80, Decagon Devices Inc., Pullman, Washington, E.U.A.). Este equipamento é constituído por 80 sensores, alinhados horizontalmente sobre um suporte de alumínio (Figura 7), sensíveis à radiação PAR, entre os 400 e os 700 nm.

As medições da PAR, sob e fora da influência das copas de sobreiro, realizou-se simultaneamente ao estudo do regime de radiação no interior dos cobertos herbáceos. Os valores medidos corresponderam à PAR directa e difusa, acima do coberto herbáceo, nas ASC e nas AFC, para os três anos de estudo (ver ponto 3.1.2.3).

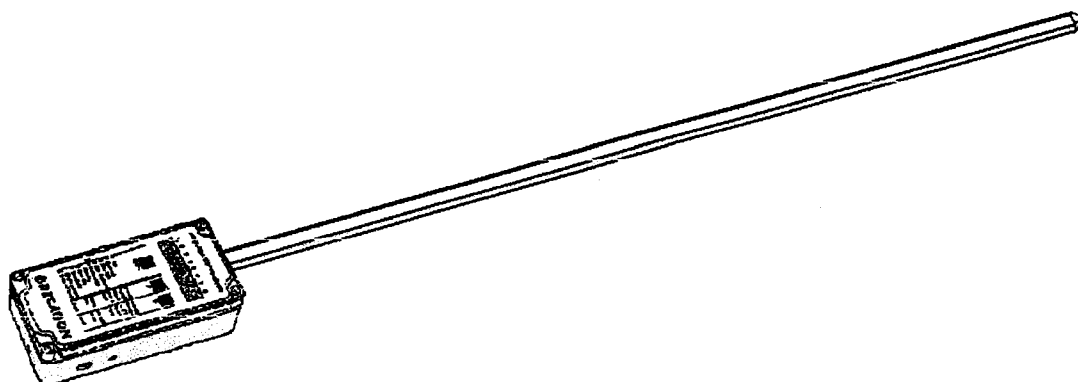


Figura 7. Ceptómetro (1:7).

3.1.2. ESTRUTURA DO COBERTO, REGIME DA RADIAÇÃO E DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA E NUTRIENTES DA VEGETAÇÃO HERBÁCEA

3.1.2.1. FITOMASSA AÉREA E SUBTERRÂNEA

3.1.2.1.1. Fitomassa aérea

Designar-se-à por **fitomassa** toda a matéria vegetal existente numa determinada área, por **biomassa** toda a matéria viva (caules, folhas, frutos, raízes) e por **necromassa** toda a matéria morta, mas não caída no solo. Assim a fitomassa corresponde ao somatório da biomassa com a necromassa. A matéria vegetal morta caída sobre o solo será designada por **manta morta**.

A quantificação da fitomassa aérea de herbáceas foi efectuada durante três anos, na área B (Figura 2), de 1994 a 1996, em áreas protegidas do pastoreio, desde o início do período vegetativo até à senescência da vegetação herbácea. No Inverno de 1993 foram fixadas seis estruturas metálicas paralelipipédicas rectangulares revestidas de rede de galinheiro (Figura 8) para protecção da vegetação, três sob e três fora da influência das copas. No final do período de crescimento as estruturas foram removidas e voltaram a ser colocadas, evitando-se a zona amostrada no ano anterior, no início do Outono de cada ano de estudo.

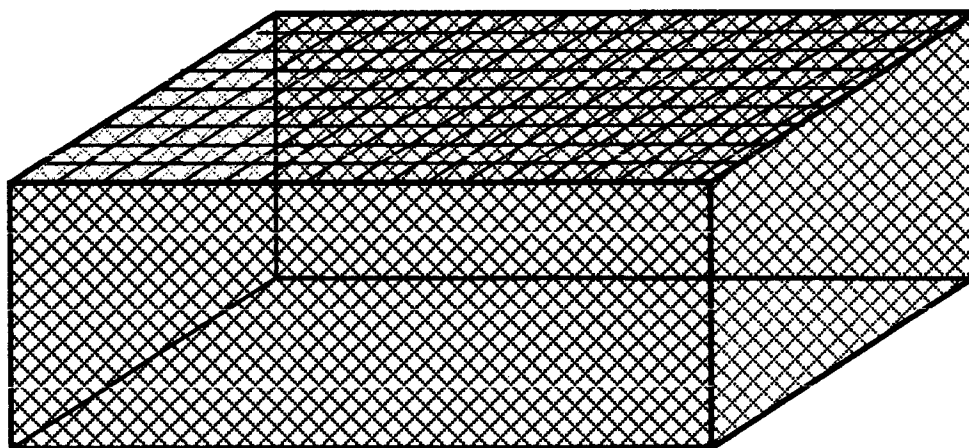


Figura 8. Estrutura de protecção da vegetação do pastoreio, 3 m x 2 m x 1 m.

Cada uma das seis áreas protegidas constituiu uma parcela de amostragem, tendo sido retirada uma sub-amostra de cada uma das parcelas, nas datas previstas para colheita de fitomassa, perfazendo um total de três sub-amostras na ASC e outras três na AFC, em cada data. Em cada sub-amostra colheu-se toda a fitomassa existente, num volume compreendido entre uma área basal quadrangular de 25 x 25 cm e a altura máxima da vegetação herbácea. Recolheu-se a manta morta existente em cada área de sub-amostragem.

3.1.2.1.2. Fitomassa subterrânea

A fitomassa subterrânea amostrada era constituída praticamente por sistemas radicais, dado que os termos **subterrânea** e **radical** serão doravante empregues como sinónimos.

A quantificação da fitomassa subterrânea foi efectuada pelo método da amostragem por sondagem manual (Schuurman & Goedewaagen, 1971; Oliveira *et al.*, 2000). A sonda era composta por um cilindro de aço, com 8 cm de diâmetro e 25 cm de comprimento, perfurado aos 5, 10 e 20 cm com uma extremidade serrilhada e outra ligada a um tubo de ferro soldado em T (com 1 m de comprimento) (Figura 9). O processo de obtenção das amostras efectuou-se enterrando a sonda até à profundidade desejada e retirando-a depois com o solo no seu interior. Por vezes, este processo teve de ser repetido por o solo ser muito pedregoso e/ou por se encontrar muito seco.

A amostragem da fitomassa subterrânea foi efectuada com a mesma periodicidade que a da fitomassa aérea, na área **B** (Figura 2), sob e fora da influência das copas. Após a colheita

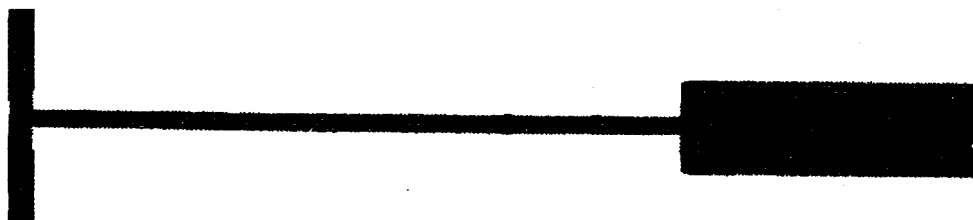


Figura 9. Sonda utilizada para amostragem da fitomassa subterrânea (1:10)

da fitomassa aérea, em cada uma das seis áreas de sub-amostragem foram efectuadas três sondagens estratificadas em profundidade (0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm). O material colhido foi colocado num saco de plástico devidamente etiquetado (nº da sub-amostra, da repetição, da profundidade) e conservado numa câmara congeladora (-18 °C).

3.1.2.2. ESTRUTURA VERTICAL DOS COBERTOS

3.1.2.2.1. Estrutura vertical da fitomassa

A quantificação da fitomassa aérea estratificada de herbáceas foi efectuada na área **B** (Figura 2), nas parcelas de amostragem da ASC e da AFC, nos três anos de estudo. No máximo desenvolvimento da vegetação herbácea, duas das seis sub-amostras a efectuar, uma da ASC e outra da AFC, foram colhidas segundo o método do corte estratificado, proposto por Monsi & Saeki (1953). A vegetação existente no volume da sub-amostra foi cortada estratificadamente de 5 em 5 cm, com o auxílio de uma estrutura de ferro especialmente concebida para o efeito (Figura 10). Recolheu-se a manta morta existente em cada área de sub-amostragem.

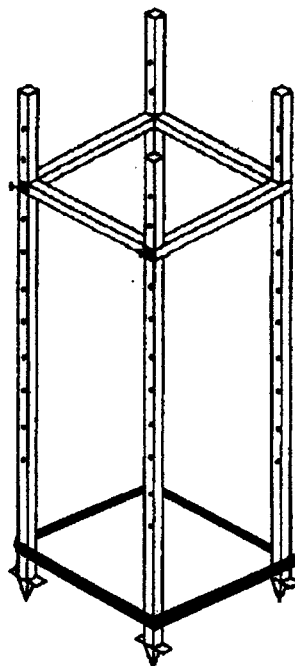


Figura 10. Estrutura de auxílio para o corte estratificado (1:12).

3.1.2.2.2. Ângulos foliares

Foram efectuadas medições das inclinações nas folhas do coberto herbáceo, existente nas parcelas de amostragem da fitomassa aérea, da AFC e da ASC, na área B (Figura 2). Esta tarefa foi realizada sempre que se procedeu à medição da radiação, no máximo desenvolvimento da vegetação, em cada um dos três anos de estudo.

O instrumento utilizado para medir a inclinação das folhas, o inclinómetro (Tappeiner, 1985), assemelha-se a um transferidor circular com um ponteiro (Figura 11). Possui uma escala dividida de 5 ° em 5 °, de amplitude de 0 ° a 90 °, e mede o ângulo formado com a horizontal. Foram efectuadas cinquenta medições de ângulos foliares, nas espécies mais abundantes, por estrato (10 cm), sempre que foi possível, desde o solo até ao topo da vegetação herbácea.

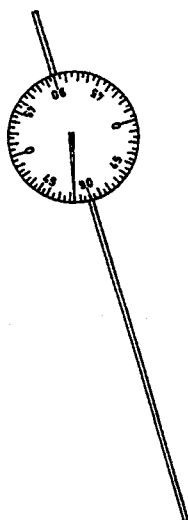


Figura 11. Inclinómetro (1:3)

3.1.2.3. EXTINÇÃO DA RADIAÇÃO NOS COBERTOS

O estudo do regime de extinção da PAR foi efectuado com o equipamento referido no ponto 3.1.1.5., no máximo desenvolvimento da vegetação herbácea, durante um dia, em cada um dos três anos de estudo. Para permitir a comparação dos valores obtidos, entre áreas e anos de estudo, as medições foram realizadas em dias de “céu limpo”, durante o período de insolação.

As medições da PAR no interior do coberto herbáceo efectuaram-se na área **B** (Figura 2), nas sub-amostras da ASC e da AFC, em que posteriormente se procedeu à estratificação da fitomassa aérea. Em cada coberto mediu-se a PAR directa que atingia cada estrato, de 5 em 5 cm, em dois pontos fixos. Repetiram-se as medições sombreando previamente o local com um guarda-sol negro, obtendo-se assim os valores da PAR difusa.

As medições acima do coberto herbáceo, sob e fora da influência das copas, efectuaram-se posicionando o ceptómetro meio metro acima da vegetação herbácea, registaram-se os valores da PAR directa e da PAR difusa (utilizando o guarda-sol negro) e invertendo o aparelho obtiveram-se os valores da PAR reflectida.

As medições da radiação directa, da radiação reflectida e da radiação interceptada em cada estrato do coberto herbáceo foram efectuadas com periodicidade horária e a radiação difusa foi registada de 2 em 2 h, ao longo do dia de estudo.

3.1.2.4. DECOMPOSIÇÃO E DINÂMICA DA LIBERTAÇÃO DOS NUTRIENTES

O estudo da decomposição da fitomassa aérea das herbáceas foi realizado usando a técnica das saquetas de decomposição (“litterbags”) (Bocock & Gilbert, 1957). No final do ciclo anual das herbáceas (Verão de 1994) colheu-se aproximadamente 1 kg de fitomassa de herbáceas, provenientes tanto da AFC como da ASC.

O material vegetal foi seco (40 °C) até atingir peso constante; deste retiraram-se cinco sub-amostras para determinação da humidade em relação ao peso seco (80 °C) e outras tantas para procedimentos analíticos, tendo sido o restante utilizado nas saquetas de decomposição. Introduziram-se aproximadamente 2 g de herbáceas (da AFC ou da ASC) em cada saqueta de nylon, de malha aberta (1 mm), com as dimensões de 150 x 120 mm, e estas foram identificadas com uma etiqueta numerada no seu interior. O peso seco (a 80 °C) exacto de herbáceas, introduzido em cada saqueta, foi registado individualmente.

As saquetas foram colocadas na área experimental **A** no dia 10 de Outubro de 1994. As 320 saquetas que continham herbáceas da ASC foram distribuídas sob as copas de quatro indivíduos de *Q. suber*; as que continham herbáceas da AFC, foram colocadas em quatro

espaços abertos fora da influência das copas. Para evitar que se destacassem facilmente, as saquetas de decomposição foram presas ao solo por um prego de 10 cm.

Ao longo de cinco anos, efectuaram-se dezoito amostragens de saquetas de herbáceas da ASC e apenas treze de herbáceas da AFC, pois muitas saquetas desta área foram danificadas por herbívoros. Procedeu-se a duas amostragens em 1994, oito em 1995, três em 1996, duas em 1997, duas em 1998 e uma em 1999. De cada vez foram colhidas dez saquetas.

3.2. MÉTODOS LABORATORIAIS

3.2.1. MEDIÇÕES E PREPARAÇÃO DE MATERIAIS

3.2.1.1. MATERIAIS ORGÂNICOS

As folhas de sobreiro, jovens e adultas, foram secas a 40 °C e pesadas numa balança (*Mettler, Toledo PB 3002*), retirando-se uma amostra para determinação do peso seco (80 °C), tendo sido posteriormente preparadas para se proceder à determinação de elementos minerais.

A folhada de sobreiro recolhida em cada colector foi seca a 40 °C durante 24 h numa estufa de ventilação forçada, para evitar o desenvolvimento de fungos, e separada em quatro componentes: folhas, raminhos, inflorescências e frutos. Registou-se o peso de cada componente e constituíram-se amostras compostas, por cada data de colheita, das quais foram retiradas cinco sub-amostras para determinar o teor de humidade em relação ao peso seco a 80 °C.

Cada uma das componentes da folhada foi preparada de modo diferente para a determinação de elementos minerais. As folhas e raminhos, por serem as componentes mais abundantes, foram analisados mensalmente (total de 58 amostras), ao longo do período de estudo. Das inflorescências apenas se analisaram três amostras (Primavera) e dos frutos quatro amostras (Outono-Inverno) por ano, as épocas em que foi possível obter a quantidade mínima para análise (total de 15 amostras de cada).

A fitomassa aérea da vegetação herbácea, total e estratificada, foi colocada em sacos de plástico devidamente identificados e, quando não foi possível proceder imediatamente à sua separação, armazenada num frigorífico a uma temperatura entre 0 ° e 5 °C, por um período sempre inferior a 24 h.

A fitomassa amostrada foi dividida em Monocotiledóneas e Dicotiledóneas, separando-se a biomassa da necromassa das diversas componentes: folhas, caules e órgãos reprodutores. No caso particular das gramíneas optou-se por incluir nas folhas apenas a porção livre do limbo, sendo o restante englobado nos caules.

As áreas foliares e caulinares da vegetação herbácea foram determinadas num fotoplanímetro electrónico (LI-3000-3050A, Li-COR Inc., Nebraska, E.U.A.). Dado o grande volume de fitomassa para mensurar, retirou-se uma amostra, de cada componente, para efectuar as medições. A área dos órgãos reprodutores só foi determinada nas sub-amostras em que se procedeu a registos da PAR, e efectuou-se por delimitação de manchas numa superfície, as quais foram medidas pelo método anteriormente descrito. Posteriormente, todas as componentes e amostras foram pesadas, colocadas numa estufa de ventilação forçada a 80 °C, e novamente pesadas, determinando-se os respectivos pesos secos.

Seleccionaram-se as datas de maior produção de fitomassa aérea, em cada ano de estudo, para proceder à determinação do teor de elementos minerais e compostos orgânicos. Analisaram-se separadamente as componentes da biomassa e necromassa aéreas: folhas, caules e órgãos reprodutores, de Monocotiledóneas e Dicotiledóneas.

As actividades de amostragem e separação da fitomassa aérea das herbáceas não permitiram que se processasse a separação das raízes logo que estas foram amostradas, tendo sido congeladas para posterior tratamento. As amostras foram retiradas da câmara frigorífica 16 h a 18 h antes de serem processadas e colocadas dentro de tabuleiros à temperatura ambiente. Optou-se pela separação a seco, apesar de morosa, pois o sistema hidropneumático de elutriação, cujo método se ensaiou, acarretava a perda de muitas raízes finas. Outros métodos de separação por água, para além da lixiviação de nutrientes, não dispensavam uma posterior escolha entre as raízes e muitos detritos vegetais. Finda a descongelação, as amostras foram passadas por diversos crivos até à separação das raízes do solo. Não foi possível distinguir, senão pontualmente, as raízes de Monocotiledóneas e Dicotiledóneas pelo que se optou por não fazer a sua separação.

O comprimento e diâmetro médio das raízes foi medido com o sistema Delta-T, que consistiu em dispor as raízes na superfície de um digitalizador, com o mínimo de sobreposições, captar a imagem e transferi-la para o programa “Delta-T Scan Software”, onde se operaram os comandos necessários para a leitura do comprimento e diâmetro médio da imagem. Antes de se iniciarem as medições, foi necessário calibrar o sistema, procurar a melhor correlação entre a dimensão dos ficheiros de imagem e a precisão da medição e verificar quais as equações mais adequadas para estimar o comprimento. Este trabalho prévio foi efectuado com representações gráficas de comprimento total conhecido (Sistema Delta-T).

Depois de medidas, as raízes foram colocadas numa estufa de ventilação forçada a 80 °C, para determinação do respectivo peso seco.

Foram preparadas para a determinação do teor de elementos minerais, as amostras da fitomassa subterrânea colhidas nas mesmas datas que as da fitomassa aérea analisada. Processaram-se separadamente as sub-amostras de 0-5 cm e as de 5-20 cm de profundidade. Houve necessidade de agrupar as amostras de 5-10 e 10-20 cm numa única amostra, devido à escassez de material.

As saquetas de decomposição, tanto as da folhada de sobreiro como as de herbáceas da ASC e da AFC, amostradas em cada data, foram secas (80 °C) e limpas. O conteúdo de cada saqueta, depois de separado das impurezas, foi pesado individualmente, reunindo-se o material amostrado em cada data numa amostra única. A partir dessa amostra procedeu-se à determinação de elementos minerais e compostos orgânicos.

As amostras de materiais orgânicos, foram fraccionadas e moídas num moinho ultracentrífugo, com um crivo de 0,5 mm de malha. Excepcionalmente, algumas amostras, cuja quantidade de material era exígua, foram moídas num almofariz e passadas por um crivo de 0,5 mm de malha.

3.2.1.2. MATERIAIS TERROSOS

As caixas contendo o solo amostrado, para determinação do teor de humidade do solo, foram pesadas e colocadas numa estufa de ventilação forçada a 105 °C durante 48 h, tempo estimado para atingirem peso constante. Em seguida, foram colocadas num excicador e passadas 2 h pesaram-se o solo e as caixas, separadamente.

Metade das amostras de solo não perturbadas, colhidas para estimar a respectiva capacidade de retenção para a água, foram saturadas lentamente com água, dispostas sobre uma placa porosa e colocadas sobre uma placa de pressão, a 0,061 atmosferas (pF 1,8), até finalizar a extracção de água das amostras. Findo este processo, as amostras foram pesadas e em seguida colocadas numa estufa de ventilação forçada a 105° C durante 48 h, tempo estimado para atingirem peso constante. Depois de secas, as amostras foram retiradas da estufa e colocadas num excicador durante 2 h, tendo sido pesadas em seguida. Procedeu-se de forma idêntica com o outro lote de amostras não perturbadas, que foram sujeitas a uma pressão de 0,33 atmosferas (pF 2,54).

As amostras de solo perturbadas, foram saturadas de água e colocadas numa membrana de pressão a 15 atmosferas (pF 4,2). Os restantes procedimentos foram idênticos aos anteriormente descritos.

As amostras de solo colhidas para determinação do teor em carbono, azoto e fósforo e potássio extraíveis, foram secas numa estufa a 45 °C durante 72 horas, de forma a perderem o excesso de humidade que pudessem conter, após o que foram passadas por um crivo com malha de 2 mm de diâmetro, a fim de separar os elementos grosseiros da terra e raízes finas. Ambas as fracções foram pesadas e da fracção composta por terra e raízes finas foram retiradas sub-amostras destinadas ao respectivo processamento analítico.

3.2.2. MÉTODOS ANALÍTICOS

3.2.2.1. MATERIAIS ORGÂNICOS

O teor em cinza foi determinado, por combustão de um grama de amostra, submetida à temperatura de 450 °C, durante seis horas.

A determinação da concentração em azoto total (N), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), manganês (Mn) e cálcio (Ca) nas diversas amostras analisadas, foi efectuada no Laboratório de Pedologia do Instituto Superior de Agronomia, em Lisboa.

O cálcio, magnésio e potássio foram extraídos a partir da digestão da cinza com uma mistura de 5 ml de ácido nítrico a 65% e 5 ml de ácido perclórico a 60% (por duas vezes), processando-se a solubilização final com ácido clorídrico 3M. A quantificação destes elementos na solução foi efectuada por espectrofotometria de absorção atómica. O fósforo foi extraído igualmente a partir da cinza, pela mesma metodologia de digestão, sendo a quantificação efectuada por colorimetria, na solução obtida (Murphy & Riley, 1962). O azoto foi determinado utilizando o sistema de digestão *Kjeltec Auto 1030 Analyser*, baseado no método de Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982).

As determinações do teor de lípidos totais e fibras (holoceluloses e lenhinas) foram efectuadas no Laboratório de Nutrição Animal do Instituto de Ciências Agrárias Mediterrânicas (ICAM), nas instalações da Universidade de Évora. As fibras foram determinadas por solubilização sequencial em detergentes, de meio neutro para meio ácido forte (Van Soest, 1963). Para cada amostra determinou-se, em primeiro lugar, a fracção insolúvel em detergente em meio neutro (NDF), em seguida, procedeu-se à extracção com detergente em meio ácido, constituindo o ADF a fracção insolúvel e finalmente, hidrolisou-se o material restante com ácido sulfúrico a 72%, obtendo-se o ADL.

O NDF corresponde, grosso modo, às fibras totais (celulose, hemicelulose, lenhina e cutina), o ADL à celulose mais lenhina e cutina e o ADF à lenhina mais cutina. No decurso da apresentação e discussão dos resultados, empregar-se-ão os termos holocelulose para definir a fracção hemicelulose mais celulose e lenhina em relação ao ADF (lenhina mais cutina).

Os lípidos totais foram determinados por solubilização num solvente orgânico (éter de petróleo anidro).

3.2.2.2. MATERIAIS TERROSOS

Nas sub-amostras destinadas ao processamento analítico foram determinados os seguintes parâmetros:

- ★ pH – o seu valor foi determinado em suspensões do solo em água e em soluções de cloreto de potássio 1 M (suspensões 1:2,5) pelo método electrométrico, utilizando um potenciómetro digital (modelo 632 da marca *Metrohm*, com precisão até 0,01);

- ★ Carbono orgânico total – determinado através da medição do volume de dióxido de carbono libertado pela combustão a 1200° C de um grama de amostra, realizada num equipamento da marca *Ströhlein Instruments*;

- ★ Carbono não-humificado – foi determinado por via húmida (De Leenheer & Van Hove, 1958) na fracção da terra fina superior a 50 µm, após crivagem de uma suspensão de terra fina (5 g) em 50 ml de água destilada, agitada rotativamente durante duas horas.

- ★ Azoto total – foi determinado utilizando o sistema de digestão *Kjeltec Auto 1030 Analyser*, baseado no método de Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982).

- ★ Fósforo e potássio extraíveis - foram extraídos a partir de uma amostra de 5 g, com 100 ml de uma solução de lactato de amónio e ácido acético a pH 3,7-3,8 (método de Egner-Riehm), tendo o fósforo sido quantificado no extracto obtido (após filtração) por colorimetria - utilizando um aparelho modelo *SP8-400 UV/VIS* da marca *Pye Unicam*, regulado para um comprimento de onda de 882 nm -, segundo o método de Murphy & Riley (1962) adaptado por Watanabe & Olsen (1965); o potássio foi determinado por espectrofotometria de absorção atómica.

3.3. CÁLCULOS E TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Todos os procedimentos estatísticos e de análise de dados foram realizados com o programa SPSS 9.0.0 para Windows. A fundamentação teórica para a execução dos tratamentos estatísticos foi a descrita em Sokal & Rohlf (1995) e Zar (1999).

3.3.1. CARACTERÍSTICAS E ACÇÃO DAS COPAS DE SOBREIRO

3.3.1.1. FENOLOGIA FOLIAR

Para avaliar a ocorrência de correlação linear entre o número de folhas de sobreiro formadas e o número de folhas caídas, foi calculado o coeficiente de correlação de Spearman, tendo-se previamente verificado que as variáveis não apresentavam uma distribuição normal. Considerou-se que as variáveis se encontravam correlacionadas quando a probabilidade associada ao coeficiente de correlação foi inferior a 0,05.

A translocação foliar absoluta foi determinada pela diferença entre a concentração máxima de um nutriente nas folhas fotossinteticamente activas, colhidas antes do período de queda máxima, e a concentração desse mesmo nutriente nas folhas da folhada, no período de queda máxima (Mayor & Rodá, 1992).

3.3.1.2. PRODUÇÃO DE FOLHADA

A quantidade de folhada caída mensalmente, foi avaliada somando as quantidades recolhidas em todos os cestos (peso seco) e extrapolando para a área de um metro quadrado. O total anual de folhada foi calculado para cada árvore, determinando-se a respectiva média e

o erro padrão. As diferenças entre as quantidades anuais de folhada foram avaliadas por análise de variância (ANOVA) de classificação simples, consideraram-se as médias significativamente diferentes quando o nível de probabilidade associado ao teste foi inferior a 0,05. Nestes casos, efectuaram-se em seguida comparações múltiplas de médias (teste de Student-Newman-Keuls). Quando as variáveis não satisfizeram os pressupostos da análise de variância, mesmo depois de serem ensaiadas várias transformações, as diferenças entre médias foram avaliadas por testes não paramétricos (teste de Kruskal-Wallis).

O cálculo da concentração média anual de cada nutriente, para as folhas e os raminhos, foi obtido pela média das concentrações mensais ponderadas com a quantidade mensal de folhas e raminhos produzidos. Para estes dois componentes estimaram-se alguns descritores anuais: mediana, máximo e mínimo. Para as inflorescências e frutos, dado que se possuem apenas quatro valores anuais de concentrações de nutrientes, calcularam-se as médias dos meses em que se efectuaram análises. Para verificar a existência de diferenças anuais na concentração de um dado nutriente, procedeu-se de forma idêntica à descrita para avaliar as diferenças entre as quantidades anuais de folhada.

A quantidade de nutrientes devolvidos ao solo, pelas folhas da folhada, foi calculada multiplicando o valor do peso seco (80 °C) daquela componente pelo valor da concentração de cada nutriente.

Para determinar a existência de correlação linear entre as variáveis, quantidade de um componente da folhada e teor de nutrientes, recorreu-se à correlação de Pearson, ou no caso de não observância dos pressupostos exigidos, à correlação de Spearman.

3.3.1.3. DECOMPOSIÇÃO E DINÂMICA DE LIBERTAÇÃO DOS NUTRIENTES DAS FOLHAS

A quantidade de matéria orgânica (MO) residual das folhas em decomposição foi calculada como a razão entre o peso seco obtido em cada amostragem e o peso seco inicial (isentos de cinza), e apresentada sob a forma de percentagem.

Calculou-se a taxa de decomposição (k), com base na equação de Olson (1963) (1), sob a forma de equação de uma recta (2).

$$(1) \quad X_t = X_0 e^{-kt}$$

$$(2) \quad \ln (X_t / X_0) = -kt$$

X_0 – peso seco da MO inicial

X_t – peso seco da MO final (no tempo t)

t – tempo em anos

k – taxa de decomposição

O valor de k , correspondente ao declive da recta de regressão entre a variável dependente “logaritmo do peso remanescente” e a variável independente “tempo (anos)”.

A partir do valor de k foram estimados o “turnover” (3), tempo (anos) de renovação da folhas da folhada de sobreiro em decomposição, e o tempo de semi-vida (4) das folhas da folhada de sobreiro, ou seja, o tempo (anos) necessário para que a massa inicial de folhas se reduza a metade.

$$(3) \quad \text{“Turnover”} = 1/k$$

$$(4) \quad T_{\text{semi-vida}} = 0,693/k$$

A proporção remanescente de cada nutriente foi calculada como a razão entre a quantidade média do nutriente existente em cada data de amostragem e a quantidade inicial desse nutriente. Procedeu-se de forma idêntica para o cálculo das proporções remanescente de holocelulose, lenhina e lípidos, cujas proporções foram expressas em relação à MO.

Para o cálculo das razões C/N e C/P, à semelhança de outros autores (Madeira & Ribeiro, 1995), considerou-se que o carbono representava 50% da MO e as concentrações de N e P foram expressas em relação à MO.

Para determinar a existência de correlação linear entre as variáveis - MO remanescente, N, P, K, Ca, Mg e Mn remanescentes, razões C/N, C/P lenhina/N, lenhina/lenhina+holoceluloses, precipitação acumulada - recorreu-se à correlação de Pearson, ou no caso de não observância dos pressupostos exigidos, à correlação de Spearman.

3.3.1.4. TEOR DE HUMIDADE E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

3.3.1.4.1. Teor de água no solo

Foi calculada a percentagem de água (5) em cada amostra de solo.

$$(5) \quad \% \text{ água no solo} = [(p_{th} - p_{ts}) / (p_{ts} - p_c)] \times 100$$

p_{th} – peso da caixa+terra húmida

p_{ts} – peso da caixa+terra seca

p_c – peso da caixa

Calculou-se a média e o desvio padrão do teor de humidade do solo para cada data, área (ASC e AFC) e profundidade (0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm) e verificou-se a existência de diferenças significativas, entre os valores médios, através de ANOVA's de classificação simples, consideraram-se as médias significativamente diferentes quando o nível de probabilidade associado ao teste foi inferior a 0,05. Nestes casos, efectuaram-se em seguida comparações múltiplas de médias (teste de Student-Newman-Keuls). Quando as variáveis não satisfizeram os pressupostos da análise de variância, mesmo depois de serem ensaiadas várias transformações, as diferenças entre médias foram avaliadas por testes não paramétricos (teste de Kruskal-Wallis).

A comparação entre os teores de humidade do solo das ASC e AFC, para os três níveis de profundidade, para todas as datas amostradas ao longo dos três anos de estudo, foi realizada estatisticamente através de testes T de Student emparelhados. Consideraram-se as médias significativamente diferentes quando o nível de probabilidade associado ao teste foi inferior a 0,05.

Para determinar a existência de correlação linear entre as variáveis, teor de humidade e precipitação, recorreu-se à correlação de Pearson, ou no caso de não observância dos pressupostos exigidos, à correlação de Spearman.

3.3.1.4.2. Caracterização química do solo

O teor de carbono humificado foi determinado por diferença entre o teor de carbono total e o de carbono não humificado.

A comparação dos valores de pH e das concentrações de azoto, carbono (total, humificado e não-humificado) e fósforo e potássio extraíveis, para as diferentes datas de amostragem, para os diferentes níveis de profundidade e para as duas áreas (ASC e AFC), foi realizada estatisticamente através de testes T de Student emparelhados, consideraram-se os valores significativamente diferentes quando o nível de probabilidade associado ao teste foi inferior a 0,05.

Para determinar a existência de correlação linear entre as variáveis, teor em nutrientes, recorreu-se à correlação de Pearson, ou no caso de não observância dos pressupostos exigidos, à correlação de Spearman.

3.3.1.5. RADIAÇÃO SOB E FORA DA COPA

Efectuou-se a média diária dos valores da PAR incidente e medida sob a copa, directa e difusa, para cada um dos dias de estudo.

Calculou a percentagem da PAR interceptada (6), directa e difusa, pelas copas de sobreiro.

$$(6) \quad \% \text{ PAR interceptada} = [(PAR_i - PAR_{sc}) / PAR_i] \times 100$$

PAR_i – PAR incidente

PAR_{sc} - PAR medida sob a copa

3.3.2. ESTRUTURA DO COBERTO, REGIME DA RADIAÇÃO E DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA E NUTRIENTES DA VEGETAÇÃO HERBÁCEA

3.3.2.1. FITOMASSA AÉREA E SUBTERRÂNEA

A fitomassa aérea de herbáceas colhida nas áreas de sub-amostragem, foi extrapolada para a área de um metro quadrado. Procedeu-se de igual modo para os componentes da fitomassa aérea, para as áreas desses mesmos componentes e para a fitomassa subterrânea.

Para efectuar as medições das raízes, depois da calibração do sistema, avaliou-se qual a equação matemática, disponibilizada pelo software Delta-T, mais adequada para estimar o comprimento das raízes. Como as raízes eram em grande número por amostra e se apresentavam muito entrelaçadas, a equação de Harris & Campbell (1989) – indicada para a situação de muitas sobreposições – revelou ser a mais adequada. O diâmetro médio foi calculado automaticamente pelo programa Delta-T, dividindo a área total pelo comprimento total.

Os comprimentos radicais das raízes colhidas em cada sub-amostra foram extrapolados para a área de um decímetro quadrado.

Determinou-se a densidade radical, como a razão entre o comprimento radical total de uma amostra e o volume correspondente dessa amostra.

Tendo como base os valores de peso seco e as áreas dos diversos componentes da fitomassa aérea e subterrânea, foram calculados os seguintes índices :

- FD –(foliage density) razão entre a área foliar unifacial total e o volume total ocupado pelo coberto ($\text{m}^2 \text{m}^{-3}$).
- GAI –(green area index) razão entre a área unifacial das porções fotossinteticamente activas e a área de solo ocupada ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$).

- LAD –(leaf area development) razão entre a área foliar unifacial e o peso fresco das folhas que lhe corresponde ($\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$).
- LAI –(leaf area index) razão entre a área unifacial das folhas verdes e a área de solo ocupada ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$).
- LAR –(leaf area ratio) razão entre a área foliar unifacial do coberto e a fitomassa total (aérea e subterrânea) ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$).
- LWC –(leaf water content) **grau de suculência**; razão entre o conteúdo em água das folhas hidratadas e a área foliar unifacial total (g m^{-2}). O conteúdo em água é a diferença entre o peso fresco e o peso seco das folhas.
- LWR –(leaf weight ratio) razão entre o peso seco foliar e a fitomassa aérea (%).
- PAI –(plant area index) razão entre a área unifacial de todos os componentes coberto e a área de solo ocupada ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$).
- PD –(phytomass density) razão entre a fitomassa aérea e o volume ocupado por essa fitomassa (kg m^{-3}).
- PPLA –(produtividade primária líquida aérea) para o seu cálculo usou-se o método descrito por Pettersson & Hansson (1990) (7), em que se consideram todas as variações da biomassa aérea (BA), da necromassa aérea (NA) e da manta morta (mm).

$$(7) \quad \text{PPLA} = \Sigma (\Delta \text{BA} + \Delta \text{NA} + \Delta \text{MM}) \quad \text{em que} \quad \begin{aligned} \Delta \text{BA} &= \text{BA}_{t_1} - \text{BA}_{t_0} \\ \Delta \text{NA} &= \text{NA}_{t_1} - \text{NA}_{t_0} \\ \Delta \text{MM}^* &= x_t + \Delta \text{mm} \\ \text{e } x_t &= [(\text{mm}_{t_1} + \text{mm}_{t_0}) / 2] \cdot k_t \cdot t_{t_1-t_0} \quad \Delta \text{mm} = \text{mm}_{t_1} - \text{mm}_{t_0} \end{aligned}$$

x_t – quantidade de resíduos orgânicos que se decompuseram durante o intervalo de tempo t

$t_{t_1-t_0}$ – intervalo de tempo em dias

MM – manta morta corrigida com a quantidade de resíduos decompostos

Δ – representa a variação do parâmetro que lhe está associado no tempo t (t_1-t_0)

* O valor da variação da manta morta foi corrigido, de acordo com as recomendações do IPB (Milwer & Hughes, 1968), considerando a decomposição da manta morta. Os valores de k foram extrapolados dos ensaios da decomposição de herbáceas da AFC e da ASC, usando-se o valor do primeiro ano de decomposição, correspondente às áreas de amostragem (ASC e AFC).

PPLAS—(produtividade primária líquida aérea e subterrânea**) (8)

$$(8) \quad \text{PPLAS} = \Sigma (\Delta \text{BA} + \Delta \text{NA} + \Delta \text{MM}) + \Sigma (\Delta \text{BR} + \Delta \text{NR}) \quad \text{ou seja}$$

$$\text{PPLAS} = \text{PPLA} + \Sigma (\Delta \text{BR} + \Delta \text{NR}) \quad \begin{array}{l} \text{em que } \Delta \text{BR} = \text{BR}_{t1} - \text{BR}_{t0} \\ \text{e} \quad \Delta \text{NR} = \text{NR}_{t1} - \text{NR}_{t0} \end{array}$$

BR_t – biomassa radical num determinado tempo t

NR_t – necromassa radical num determinado tempo t

PWC –(phytomass water content) é o conteúdo em água da fitomassa aérea, a diferença entre a fitomassa hidratada e a fitomassa seca, em relação à fitomassa hidratada (%).

RE –(reproductive effort) percentagem do peso seco dos componentes essenciais à reprodução sexual em relação à fitomassa total (aérea e subterrânea) do coberto (%).

SLA –(specific leaf area) razão entre a área foliar unifacial total e a biomassa foliar total do coberto (dm² g⁻¹).

SLW –(specific leaf weight), grau de esclerofilia, razão entre a biomassa foliar total e a área foliar unifacial total (g m⁻²), valor inverso de SLA.

Calculou-se a média, o desvio padrão e o erro padrão da fitomassa aérea e seus índices de área, para os diferentes cobertos herbáceos (ASC e AFC) e anos de estudo. Efectuaram-se os mesmos cálculos para a fitomassa subterrânea, total e por profundidade, e para os comprimentos e diâmetros radicais.

Verificou-se a existência de diferenças significativas entre os valores médios, através de ANOVA's de classificação simples, consideraram-se as médias significativamente diferentes quando o nível de probabilidade associado ao teste foi inferior a 0,05. Nestes casos, efectuaram-se em seguida comparações múltiplas de médias (teste de Student- Newman-Keuls). Quando as variáveis não satisfizeram os pressupostos da análise de variância, mesmo depois de serem ensaiadas várias transformações, as diferenças entre médias foram avaliadas por testes não paramétricos (teste de Kruskal-Wallis).

** Para estimar a produtividade subterrânea não se utilizou a correcção com a constante de decomposição por não existirem estudos sobre a decomposição das raízes das herbáceas das ASC e AFC.

Para determinar a existência de correlação linear, entre os descritores da fitomassa aérea e subterrânea, recorreu-se à correlação de Pearson, ou no caso de não observância dos pressupostos exigidos, à correlação de Spearman.

Determinou-se o declive da recta de regressão entre as variáveis “peso radical” (em gramas) e “comprimento radical” (em metros), para as ASC e AFC a diferentes profundidades.

3.3.2.2. ESTRUTURA VERTICAL DOS COBERTOS

3.3.2.2.1. Estrutura vertical da fitomassa

Estimaram-se alguns dos parâmetros descritos em 3.3.2.1. – LAI, GAI, PAI – e o coeficiente de Gini para colecções (G) (9), que é uma medida de concentração (Murteira, 1993).

$$(9) \quad G = \left[\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |x_i - x_j| \right) \cdot n \right] / \left[(2n^2 \bar{x}) \cdot (n-1) \right]$$

Utilizou-se este índice para determinar a uniformidade da distribuição da fitomassa e das áreas dos seus componentes ao longo dos estratos do coberto. Se a igualdade fosse perfeita, $G=0$, todos os estratos possuiriam a mesma quantidade de fitomassa; na máxima desigualdade, $G=1$, situação puramente teórica, um dos estratos possuiria toda a fitomassa do coberto e outros teriam o valor zero.

3.3.2.2.2. Ângulos foliares

Os valores dos ângulos medidos foram agrupados em classes de frequência (de 10 em 10°) por estrato, para a ASC e para AFC. Foi calculado o ângulo médio para cada estrato. Os

ângulos médios, para todo o coberto, foram calculados ponderando os ângulos médios de cada estrato com o valor LAI desse mesmo estrato.

3.3.2.3. EXTINÇÃO DA RADIAÇÃO NOS COBERTOS

Efectuou-se a média das duas medições da radiação por estrato e calcularam-se as proporções da radiação interceptada em cada estrato, em relação à radiação total incidente.

Calculou-se o coeficiente de extinção da luz (k), com base na Lei de Lambert-Beer (Monsi & Saeki, 1953) (10), sob a forma de equação de uma recta (11).

$$(10) \quad I_x = I_0 e^{-k LAI_{ac}}$$

$$(11) \quad \ln(I_x / I_0) = -k LAI_{ac}$$

I_x – Intensidade da PAR no estrato x

I_0 – Intensidade da PAR directa

LAI_{ac} – Índice de área foliar acumulado

k – coeficiente de extinção

O valor de k , correspondente ao declive da recta de regressão entre a variável dependente “logaritmo da transmitância” e a variável independente “ $LAI_{acumulado}$ ”.

O valor de k foi calculado para diversas horas do dia, tanto para a radiação directa como para a radiação difusa, relativamente aos valores de $LAI_{acumulado}$. Ocorreram situações, em que os valores do $LAI_{acumulado}$ não explicaram satisfatoriamente a variação do logaritmo da transmitância, ao longo dos estratos. Uma dessas situações verificou-se quando o modelo de regressão não descreveu satisfatoriamente os resultados obtidos ($p > 0,05$); a outra, quando os valores de k não foram significativamente diferentes de zero ($p > 0,05$). Nestas circunstâncias, calcularam-se os valores de k relativamente ao $GAI_{acumulado}$ e ao $PAI_{acumulado}$.

3.3.2.4. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA FITOMASSA

A proteína bruta foi estimada multiplicando a quantidade de N total por 6,25.

A concentração média de N, K, P, Ca, Mg e Mn nos cobertos de herbáceas das ASC e AFC foi ponderada com o peso seco de cada componente da fitomassa aérea.

A quantidade de cada nutriente por área, nos cobertos herbáceos da ASC e AFC, calculou-se multiplicando o valor do peso seco de cada componente da fitomassa aérea pela sua concentração em cada nutriente. Procedeu-se da mesma forma para determinar a quantidade de nutrientes na fitomassa subterrânea.

Para determinar a quantidade de constituintes orgânicos por metro quadrado, multiplicou-se o valor da fitomassa aérea pela respectiva concentração de cada constituinte orgânico.

3.3.2.5. DECOMPOSIÇÃO E DINÂMICA DA LIBERTAÇÃO DOS NUTRIENTES

Os cálculos efectuados foram idênticos aos descritos em 3.3.1.3..

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CARACTERÍSTICAS E ACÇÃO DAS COPAS DE SOBREIRO

4.1.1. RESULTADOS

4.1.1.1. FENOLOGIA FOLIAR

As fenofases não ocorreram simultaneamente em todos os ramos dos sobreiros estudados, tendo a maioria das folhas marcadas no início do estudo sofrido abscisão entre a primeira quinzena de Abril e o final de Maio de 1996. Excepcionalmente, num dos ramos, a abscisão foliar principiou em Março, terminando em Maio; em outros dois ramos, o período de queda das folhas inicialmente marcadas, prolongou-se de Abril a Junho. Em Julho de 1996 não restava nenhuma das 85 folhas que se formaram, muito provavelmente, na Primavera do ano anterior (Figura 12).

A formação de novas folhas de sobreiro, nos ramos estudados em 1996, ocorreu em duas épocas: o primeiro lançamento de novas folhas ocorreu simultaneamente em todos os sobreiros, durante o mês de Abril; o segundo lançamento registou-se em períodos diferentes para os ramos estudados, entre Maio e Agosto.

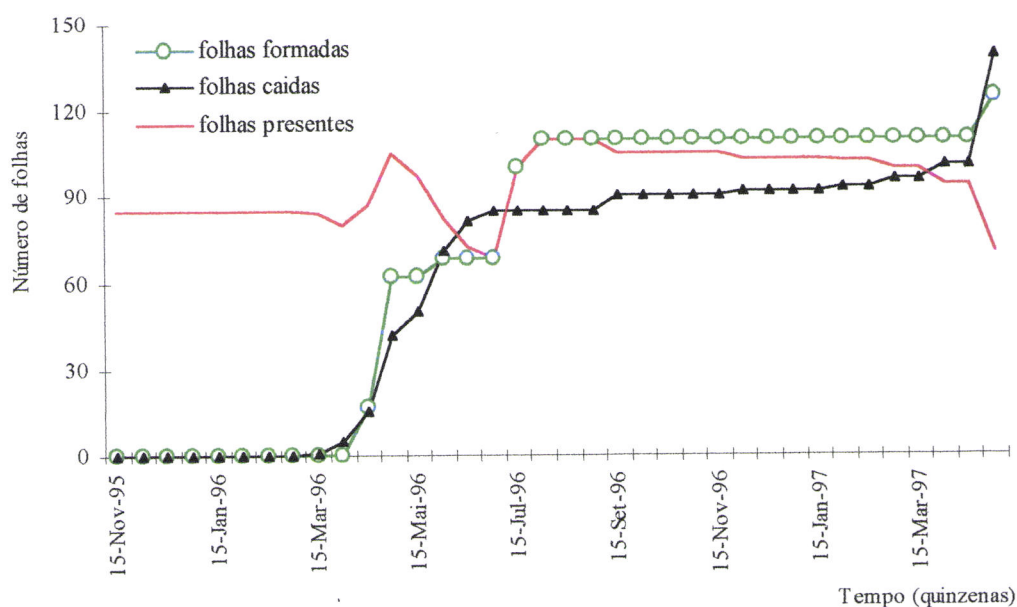


Figura 12. Número de folhas presentes e número acumulado de folhas formadas e caídas, de Novembro de 1995 a Abril de 1997.

Na época primaveril, os processos de formação e abscisão foliar foram praticamente simultâneos; de Abril a Maio de 1996 caíram 71 folhas, das inicialmente marcadas, e formaram-se 68 novas folhas.

Das novas folhas, formadas durante o mês de Abril, – 80 no total – 20% permaneceram nos ramos menos de doze meses, 40% tiveram uma longevidade de exactamente um ano e as restantes mantiveram-se activas por um período superior a 12 meses.

A abscisão das folhas de sobreiro, formadas em 1996, iniciou-se entre Setembro do mesmo ano, em metade dos ramos dos sobreiros estudados. Contudo, a percentagem de folhas caídas, entre Setembro de 1996 e a primeira quinzena de Abril de 1997, foi inferior a 15%. Os ramos, em que o processo de queda foliar se iniciou antes de Abril de 1997, apresentavam, por essa altura, gemas foliares desenvolvidas, mas nenhuma folha nova formada. Na segunda quinzena de Abril de 1997, verificou-se novamente a simultaneidade dos processos de queda e formação de folhas de sobreiro, apenas em 50% dos ramos estudados.

De Novembro/95 a 15/Março/96 não ocorreu abscisão foliar nos ramos estudados, verificando-se o fenómeno contrário de Novembro/96 a 15/Março/97, em que caíram 6% das folhas existentes.

Verificou-se uma forte correlação linear entre o número de folhas formadas e o número de folhas caídas, tanto para o primeiro ($r^2=0,923$, $n=36$, $p<0,001$), como para o segundo ano ($r^2=0,961$, $n=17$, $p<0,001$) de estudo.

4.1.1.2. PRODUÇÃO DE FOLHADA

A produção anual média de folhada de sobreiro, estimada para os quatro anos de amostragem completos, foi de $0,51 \pm 0,03 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$, constituindo as folhas – $0,25 \pm 0,05 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ – cerca de metade da folhada total. Os raminhos atingiram uma produção média anual de $0,09 \pm 0,02 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$. A produção de inflorescências, para o mesmo período, foi de $0,06 \pm 0,01 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$, tendo sido a produção de frutos superior às dos raminhos e inflorescências – $0,10 \pm 0,05 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ (Quadro 5).

Quadro 5. Produção anual média de folhada (g m^{-2}) e respectivos erros padrão, de 1994 a 1998. * Neste ano a colheita da folhada foi efectuada de Março a Dezembro.

	Folhas	Raminhos	Inflorescência	Frutos	Folhada
1994*	270 ± 25	87 ± 8	59 ± 9	400 ± 216	816 ± 235
1995	255 ± 23	121 ± 17	80 ± 14	$1,4 \pm 1$	458 ± 49
1996	181 ± 21	85 ± 8	38 ± 6	228 ± 127	532 ± 150
1997	384 ± 40	116 ± 12	53 ± 7	12 ± 5	565 ± 47
1998	197 ± 23	54 ± 7	58 ± 7	140 ± 76	449 ± 74

Apenas se efectuaram análises de variância para os anos de amostragem completos (1995-98), não se tendo verificado diferenças significativas ($F_{3,16}=0.189$, $p=0.902$) entre as quantidades totais de folhada registadas. O ano de 1994, apesar de não incluir os valores de Janeiro e Fevereiro, apresentou uma produção de folhada muito elevada, devido à grande produção de frutos nesse ano. Verificaram-se, porém, diferenças entre os valores anuais de folhas da folhada, sendo o valor do ano de 1997 significativamente superior aos restantes. Registaram-se igualmente diferenças entre as produções anuais de raminhos ($F_{3,16}=6,89$, $p=0,003$), diferindo o ano de 1998 dos outros três. O valor da produção de inflorescências em 1996 foi significativamente diferente ($F_{3,16}=3,53$, $p=0,039$) dos valores dos restantes anos. Para os frutos, as produções de 1995 e 1997 foram muito inferiores às dos outros anos, diferindo significativamente das de 1996 e 1998 ($F_{3,16}=11,1$, $p=0,0003$).

A queda de folhada apresentou um padrão sazonal com dois máximos, um na Primavera, conferido essencialmente pelas folhas e inflorescências, e outro no Outono, pela predominância dos frutos. Os raminhos não evidenciaram nenhuma época de queda preferencial (Figura 13).

Nos primeiros três anos, entre Março e Maio, foram produzidos mais de dois terços do total anual das folhas da folhada. O mesmo não sucedeu em 1997 e 1998, em que a proporção de folhas da folhada, registada para a época primaveril, não ultrapassou os 45% do valor total

anual. A queda de folhas em 1997, para além de ter sido muito elevada, alargou-se pelo Outono; em 1998, a quantidade de folhas que sofreram abscisão, entre Janeiro e Março, foi muito mais elevada que nos anos anteriores.

Os raminhos da folhada variaram ao longo do período de estudo, apresentando produções anuais distintas, de 54 g m^{-2} a 121 g m^{-2} , em consequência da queda de ramos de maior porte em alguns dos anos, facto que não ocorreu regularmente.

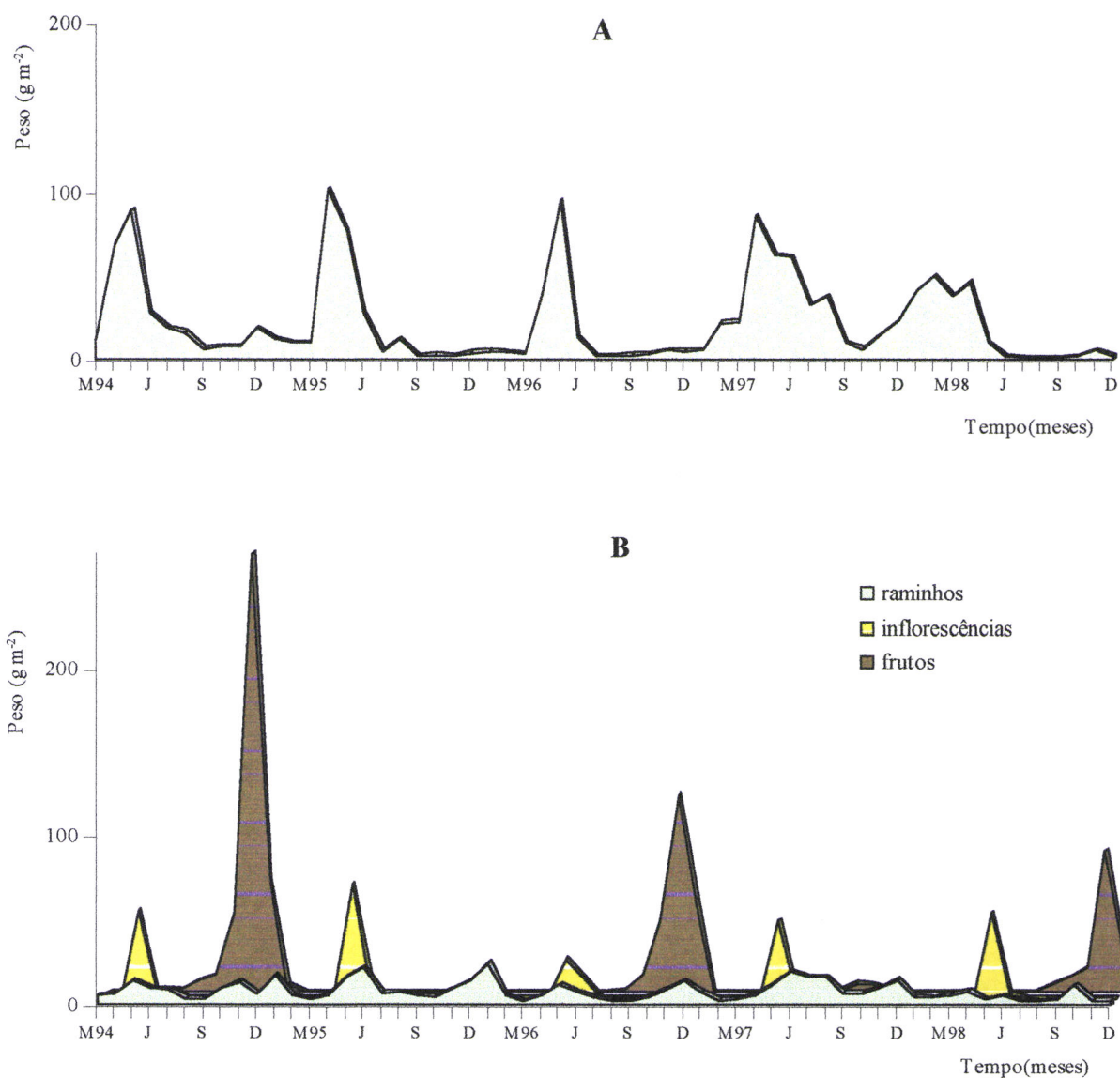


Figura 13. Variação da quantidade (g m^{-2}) das componentes da folhada de sobreiro, **A**-folhas; **B**-raminhos, inflorescências e frutos, de Março de 1994 a Dezembro de 1998.

A produção de inflorescências foi irregular ao longo dos anos de estudo, variando entre 38 g m^{-2} e 80 g m^{-2} por ano, não tendo sido verificada nenhuma correlação entre a sua produção e a de frutos.

Para os frutos registou-se um padrão alternado, em que a anos de produção mais elevada – 1994 (400 g m^{-2}), 1996 (228 g m^{-2}) e 1998 (140 g m^{-2}) – se seguiram anos de produção quase nula – 1995 ($1,4 \text{ g m}^{-2}$) e 1997 (12 g m^{-2}).

4.1.1.2.1. Composição química da folhada

4.1.1.2.1.1. Folhas

As concentrações dos nutrientes considerados, nas folhas da folhada, variaram substancialmente ao longo das estações do ano (Figura 14).

As concentrações de N e P tenderam a ser mais altas quando a quantidade de folhas da folhada foi menor; pelo contrário, no período de queda máxima de folhas as concentrações desses nutrientes baixaram abrupta e fortemente. Todavia, as concentrações de N e as concentrações de P não se correlacionaram linearmente com a quantidade de folhas caídas, durante o período de amostragem.

O N e o P atingiram concentrações mínimas (cerca de $6,24 \text{ mg g}^{-1}$ e $0,27 \text{ mg g}^{-1}$, respectivamente) entre Maio e Junho, enquanto as concentrações mais elevadas ocorreram entre o final do Verão e o Inverno; os valores máximos (N- $15,6 \text{ mg g}^{-1}$ e P- $0,98 \text{ mg g}^{-1}$) ocorreram geralmente nos meses de Janeiro e de Fevereiro. O teor de P nas folhas da folhada apresentou uma variação em tudo semelhante ao teor de N, verificando-se uma forte correlação entre as duas variáveis ($r^2=0,95$, $n=58$, $p<0,001$). As concentrações médias anuais ponderadas de N e P foram mais elevadas em 1996 e 1998, anos em que a produção de folhas da folhada foi mais baixa.

O K apresentou concentrações mais elevadas no Verão do que nas restantes épocas, excepto em 1997, que foi o ano com valores mais elevados de precipitação entre Junho e Setembro.

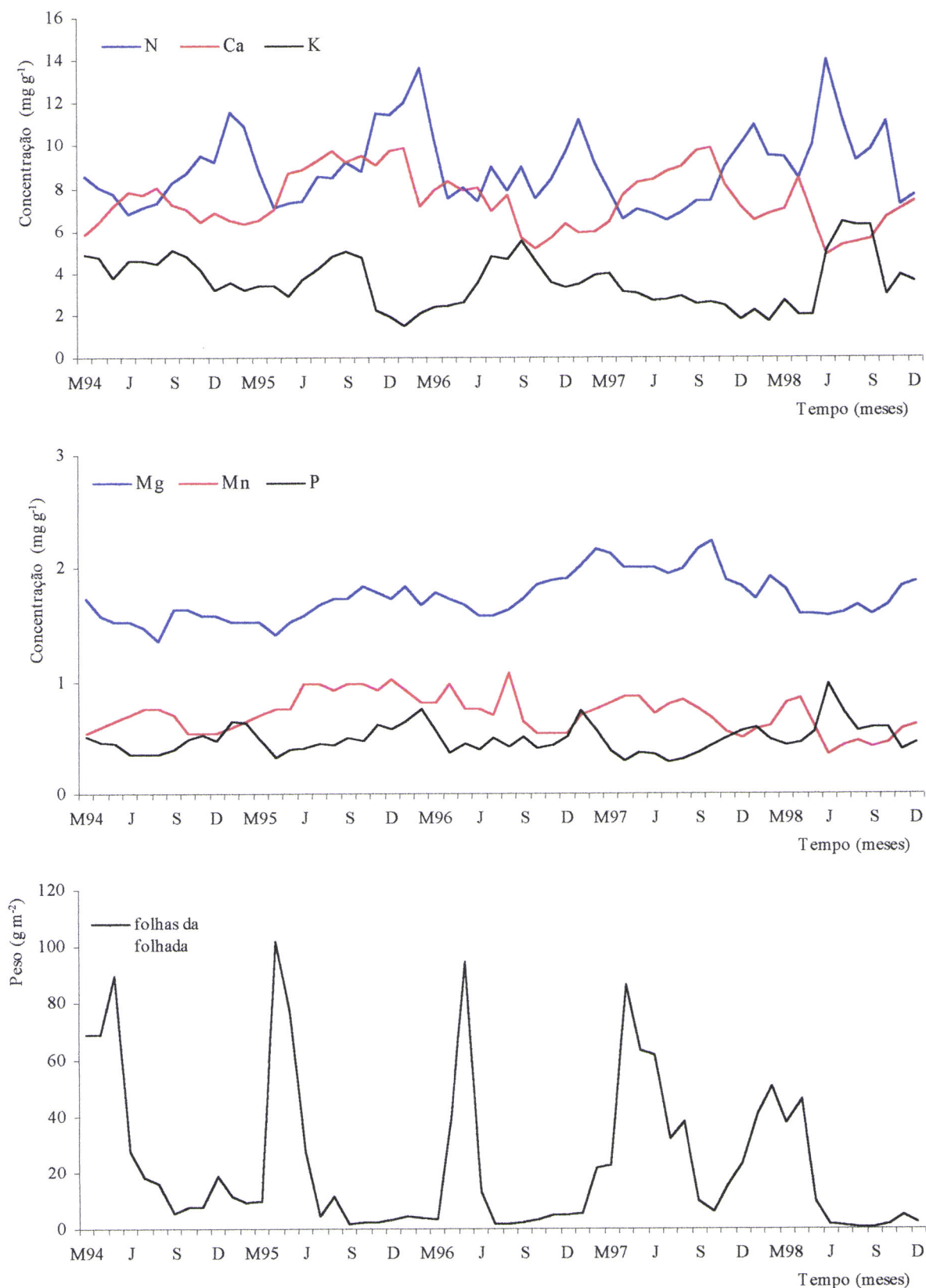


Figura 14. Concentrações mensais (mg g⁻¹ de peso seco) de N, Ca, K, Mg, Mn e P nas folhas da folhada e quantidades mensais (g m⁻²) de folhas da folhada, de Março de 1994 a Dezembro de 1998.

Para o Ca, Mg e Mn, registou-se uma variação da concentração ao longo dos anos, sem contudo ser evidente um padrão anual definido. Os valores de Ca e Mn apresentaram uma correlação positiva ($r^2=0,95$, $n=58$, $p<0,001$). A mediana dos valores da concentração de Ca foi mais elevada nos anos de 1995 e 1997 (Quadro 6), justamente aqueles em que se registou a menor produção de frutos e a concentração média ponderada foi mais baixa em 1994, o ano com a produção mais alta de frutos.

Quadro 6. Concentrações (mg g^{-1}) médias anuais ponderadas, mediana, máximo e mínimo de N, Ca, K, Mg, Mn e P nas folhas da folhada de sobreiro, de 1994 a 1998. * Neste ano a colheita da folhada foi efectuada de Março a Dezembro.

		N	Ca	K	Mg	Mn	P
1994*	média ponderada	7,89	6,96	4,26	1,54	0,63	0,43
	mediana	7,77	7,04	4,44	1,52	0,65	0,42
	máximo	10,21	8,02	5,63	1,73	0,76	0,58
	mínimo	6,74	5,85	3,14	1,30	0,43	0,34
1995	média ponderada	7,72	7,48	3,45	1,49	0,79	0,38
	mediana	8,80	8,88	3,58	1,63	0,87	0,45
	máximo	12,40	10,08	5,31	1,95	1,08	0,66
	mínimo	6,99	6,07	1,63	1,41	0,54	0,31
1996	média ponderada	8,33	7,73	2,81	1,74	0,81	0,44
	mediana	8,37	7,15	3,42	1,73	0,76	0,46
	máximo	15,57	10,08	5,63	1,96	1,19	0,85
	mínimo	6,97	5,09	1,30	1,52	0,54	0,35
1997	média ponderada	7,80	7,66	2,98	1,99	0,76	0,40
	mediana	7,41	8,23	2,87	2,02	0,76	0,38
	máximo	12,09	9,89	4,24	2,24	0,87	0,91
	mínimo	6,24	5,77	1,80	1,85	0,50	0,27
1998	média ponderada	9,58	7,13	2,25	1,76	0,69	0,50
	mediana	9,67	6,65	3,30	1,67	0,58	0,56
	máximo	13,98	8,48	6,39	1,93	0,86	0,98
	mínimo	7,19	4,90	1,70	1,58	0,35	0,39

Os valores médios anuais (Quadro 6) das concentrações ponderadas de N, Ca, K, Mg, Mn e P nas folhas da folhada, durante o período de estudo, foram, respectivamente, 8,26, 7,39, 3,15, 1,70, 0,74 e 0,43 mg g⁻¹.

Não se verificaram diferenças significativas entre as concentrações anuais de N, durante o período de estudo, sucedendo o mesmo para o P, o Ca e o K.

O ano 1997 registou uma concentração média de Mg superior à dos outros anos ($F_{4,53}=24,0$, $p<0,001$), tendo sido o ano que registou maior produção de folhas da folhada. O Mn apresentou diferenças entre as concentrações de 1995-1996-1997 e 1994-1998 ($F_{4,53}=7,4$, $p=0,001$), tendo os valores das concentrações ponderadas sido mais baixos no primeiro e no último ano, bem como os valores mínimos de concentração.

A amplitude anual das concentrações de K foi elevada, representando o valor da concentração mínima 45% a 35% do valor de concentração máxima. Para o N, o Ca, o Mn e o P a diferença entre as concentrações máximas e mínimas foi cerca de 50%. O Mg foi o elemento que menos variou ao longo de cada ano, tendo as concentrações mínimas representado cerca de 80% das concentrações máximas.

A quantidade anual média de N, Ca, K, Mg, Mn e P devolvida ao solo (Quadro 7) pelas folhas da folhada foi de 2,11, 1,92, 0,82, 0,45, 0,19 e 0,11 g m⁻² ano⁻¹, respectivamente.

Quadro 7. Retorno anual de N, Ca, K, Mg, Mn e P ao solo, em g m⁻² ano⁻¹, através das folhas da folhada de sobreiro, de 1994 a 1998. * Neste ano a colheita da folhada foi efectuada de Março a Dezembro.

	N	Ca	K	Mg	Mn	P
1994*	1,86	1,64	1,00	0,36	0,15	0,10
1995	1,97	1,91	0,88	0,38	0,20	0,10
1996	1,55	1,44	0,52	0,32	0,15	0,08
1997	3,28	3,22	1,25	0,84	0,32	0,17
1998	1,89	1,41	0,44	0,35	0,14	0,10
média	2,11	1,92	0,82	0,45	0,19	0,11

O valor da translocação foliar relativa de N (52%) e de P (65%) foi assim, cerca de metade do valor da concentração média das folhas adultas de sobreiro, existentes antes do período de queda máxima. O N, o P e o K evidenciaram valores elevados de translocação foliar (Quadro 8), apresentando concentrações bastante mais elevadas nas folhas adultas do que nas senescentes. Este facto, não ocorreu para o Ca, o Mn e o Mg que, pelo contrário, evidenciaram concentrações mais elevadas em folhas senescentes e nas folhas da folhada do que em folhas adultas.

Quadro 8—Concentração (mg g^{-1}) de N, K e P nas folhas adultas existentes antes do período de queda máxima e nas folhas da folhada de sobreiro colhidas no período de queda máxima. Valores da translocação relativa (%) de N, K e P.

		N	K	P
1996	Folhas adultas	16,0	4,3	1,0
	Folhas da folhada	7,7	2,4	0,4
	Translocação relativa	51,9	44,8	62,4
1997	Folhas adultas	14,7	5,0	1,0
	Folhas da folhada	6,9	3,2	0,3
	Translocação relativa	52,7	34,9	68,9

4.1.1.2.1.2. Raminhos

Para os raminhos verificou-se uma situação similar à das folhas, variabilidade anual e inter-anual das concentrações (Figura 15) e uma tendência para que as concentrações máximas ocorressem na época de menor queda de raminhos, não se correlacionando linearmente estas duas variáveis. Os padrões de variação do N, do P e do Mg foram muito semelhantes, apresentando-se positivamente correlacionados entre si – N-P ($r^2=0,73$, $n=58$, $p<0,001$), N-Mg ($r^2=0,44$, $n=58$, $p=0,001$) e P-Mg ($r^2=0,61$, $n=58$, $p<0,001$) – existindo também uma correlação positiva entre a variação de P e K ($r^2=0,70$, $n=58$, $p<0,001$) para os anos estudados. O Ca e Mn não evidenciaram um padrão definido, apresentando valores elevados de concentração em épocas com produções de raminhos muito diferentes.

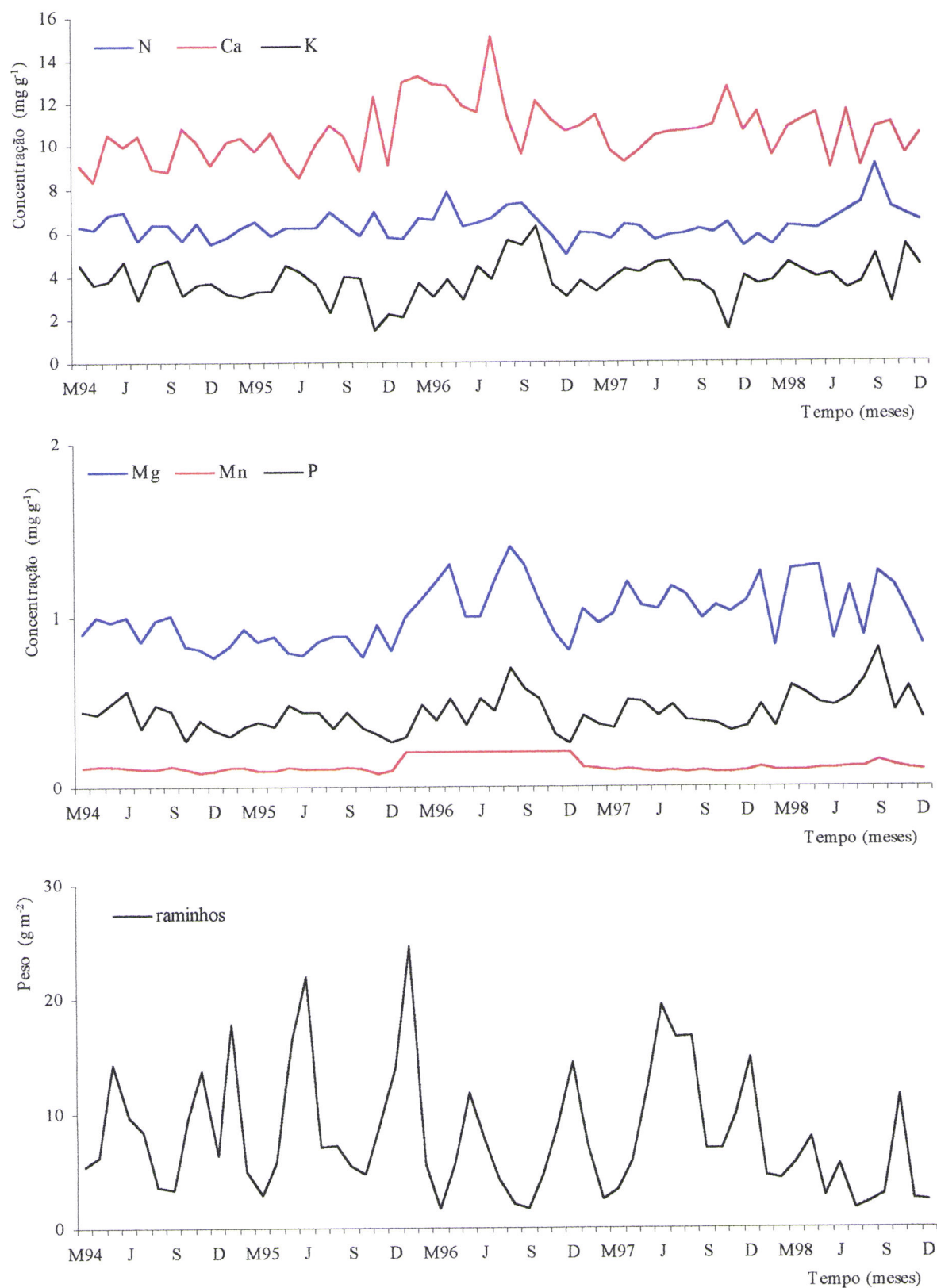


Figura 15. Concentrações mensais (mg g⁻¹ de peso seco) de N, Ca, K, Mg, Mn e P nos raminhos da folhada e quantidades mensais (g m⁻²) de raminhos da folhada, de Março de 1994 a Dezembro de 1998.

O teor em nutrientes dos raminhos foi diferente do das folhas da folhada. O Ca foi o elemento mais abundante (Quadro 9), seguindo-se o N, o K, o Mg, o P e o Mn, com concentrações médias ponderadas de, respectivamente, 10,63, 6,19, 3,63, 0,99, 0,42 e 0,12 mg g⁻¹.

As concentrações dos nutrientes ao longo dos anos foram mais homogêneas do que as registadas nas folhas; para o N, o Ca, o Mg e o Mn os valores mínimos oscilaram entre 60% a 80% dos valores máximos e para o K e o P ocorreu uma variação maior das concentrações, representando os valores mínimos de 30% a 60% dos valores máximos.

Quadro 9. Concentrações (mg g⁻¹) médias anuais ponderadas, mediana, máximo e mínimo de N, Ca, K, Mg, Mn e P nos raminhos da folhada de sobreiro, de 1994 a 1998. * Neste ano a colheita da folhada foi efectuada de Março a Dezembro.

		N	Ca	K	Mg	Mn	P
1994*	média ponderada	6,24	9,92	3,78	0,90	0,10	0,43
	mediana	6,32	9,52	3,72	0,94	0,11	0,44
	máximo	6,93	10,85	4,75	1,00	0,12	0,57
	mínimo	5,47	8,30	2,85	0,76	0,08	0,28
1995	média ponderada	6,16	9,80	3,34	0,83	0,10	0,38
	mediana	6,17	10,14	3,30	0,86	0,10	0,36
	máximo	6,93	12,35	4,47	0,95	0,11	0,49
	mínimo	5,73	8,46	1,47	0,77	0,07	0,27
1996	média ponderada	6,08	12,17	3,32	1,02	0,20	0,38
	mediana	6,59	12,00	3,75	1,10	0,20	0,47
	máximo	7,85	15,10	6,30	1,40	0,21	0,70
	mínimo	4,96	9,60	2,10	0,80	0,19	0,26
1997	média ponderada	5,88	10,67	3,86	1,08	0,09	0,42
	mediana	5,93	10,70	3,80	1,05	0,09	0,40
	máximo	6,39	12,79	4,64	1,20	0,11	0,52
	mínimo	5,29	9,22	1,51	0,96	0,08	0,33
1998	média ponderada	6,59	10,61	3,87	1,12	0,10	0,52
	mediana	6,50	10,86	3,99	1,17	0,10	0,52
	máximo	9,10	11,66	5,39	1,29	0,14	0,81
	mínimo	5,38	8,94	2,71	0,83	0,09	0,36

Não se verificaram diferenças significativas entre anos para os teores de N e K. O Ca ($F_{4,53}=8,9$, $p<0,001$) e o Mn ($F_{4,53}=192,6$, $p<0,001$) apresentaram diferenças significativas entre a concentração registada para o ano de 1996 e as dos restantes anos. O P registou em 1998 uma concentração média ponderada superior à dos outros anos, com diferenças significativas ($F_{4,53}=4,5$ $p=0,003$). Os anos de 1994 e 1995 evidenciaram concentrações inferiores de Mg, que foram significativamente diferentes ($F_{4,53}=9,3$, $p<0,001$) das concentrações registadas em 1996, 1997 e 1998.

A quantidade anual média de N, Ca, K, Mg, Mn e P devolvida ao solo (Quadro 10) pelos raminhos da folhada foi de 0,57, 0,99, 0,34, 0,09, 0,01 e 0,04 g m⁻² ano⁻¹, respectivamente. Estes valores foram muito inferiores aos registados para o retorno através das folhas da folhada, devido essencialmente à menor produção anual de raminhos da folhada, dado que as concentrações anuais médias ponderadas de Ca e K foram até superiores nos raminhos em relação às folhas.

Quadro 10. Retorno anual de N, Ca, K, Mg, Mn e P ao solo, em g m⁻² ano⁻¹, através dos raminhos da folhada de sobreiro, de 1994 a 1998. * Neste ano a colheita da folhada foi efectuada de Março a Dezembro.

	N	Ca	K	Mg	Mn	P
1994*	0,50	0,80	0,30	0,07	0,01	0,03
1995	0,72	1,15	0,39	0,10	0,01	0,04
1996	0,57	1,14	0,31	0,09	0,02	0,04
1997	0,72	1,31	0,47	0,13	0,01	0,05
1998	0,36	0,57	0,21	0,06	0,01	0,03
média	0,57	0,99	0,34	0,09	0,01	0,04

4.1.1.2.1.3. Inflorescências

As inflorescências presentes na folhada de sobreiro, foram sobretudo masculinas, representando as inflorescências femininas apenas 5% do peso total. Os valores médios das

concentrações anuais de N, Ca, K, Mg, Mn e P nas inflorescências (Quadro 11), respectivamente, 19,22, 3,88, 8,67, 1,71, 0,25 e 1,31 mg g⁻¹, foram muito distintos dos obtidos para as folhas e os raminhos da folhada. As inflorescências registaram valores muito superiores de N, K e P e bastante inferiores de Ca em relação às folhas e aos raminhos.

A quantidade anual média de N, Ca, K, Mg, Mn e P devolvida ao solo (Quadro 12) pelas inflorescências foi de 1,08, 0,23, 0,52, 0,10, 0,01 e 0,07 g m⁻² ano⁻¹, respectivamente.

Quadro 11. Concentrações (mg g⁻¹) médias anuais, de N, Ca, K, Mg, Mn e P nas inflorescências de sobreiro, de 1994 a 1998. * Neste ano a colheita da folhada foi efectuada de Março a Dezembro.

	N	Ca	K	Mg	Mn	P
1994*	19,88	5,60	9,48	1,75	0,28	1,73
1995	16,59	4,17	10,15	1,66	0,21	1,15
1996	22,53	2,96	5,81	2,04	0,25	1,49
1997	18,57	2,72	7,31	1,75	0,20	1,23
1998	18,52	3,95	10,62	1,37	0,30	0,98
média	19,22	3,88	8,67	1,71	0,25	1,31

Quadro 12. Retorno anual de N, Ca, K, Mg, Mn e P ao solo, em g m⁻² ano⁻¹, através das inflorescências de sobreiro, de 1994 a 1998. * Neste ano a colheita da folhada foi efectuada de Março a Dezembro.

	N	Ca	K	Mg	Mn	P
1994*	1,18	0,33	0,56	0,10	0,02	0,10
1995	1,33	0,33	0,81	0,13	0,02	0,09
1996	0,85	0,11	0,22	0,08	0,01	0,06
1997	0,98	0,14	0,38	0,09	0,01	0,06
1998	1,07	0,23	0,62	0,08	0,02	0,06
média	1,08	0,23	0,52	0,10	0,01	0,07

4.1.1.2.1.4. Frutos

Os valores médios das concentrações anuais de N, Ca, K, Mg, Mn e P nos frutos, 7,52, 1,86, 7,20, 0,92, 0,13 e 0,74 mg g⁻¹, respectivamente, tal como as concentrações médias das inflorescências, registaram valores muito superiores de K (Quadro 13) e bastante inferiores de Ca, em relação às folhas e aos raminhos.

Quadro 13. Concentrações (mg g⁻¹) médias anuais de N, Ca, K, Mg, Mn e P nos frutos de sobreiro, de 1994 a 1998. * Neste ano a colheita da folhada foi efectuada de Março a Dezembro.

	N	Ca	K	Mg	Mn	P
1994*	9,44	1,20	7,14	0,74	0,06	0,77
1995	5,05	1,22	7,16	0,83	0,08	0,68
1996	8,93	1,46	7,52	0,86	0,10	0,81
1997	5,45	2,25	6,48	0,84	0,13	0,65
1998	8,74	3,19	7,72	1,34	0,27	0,72
média	7,52	1,86	7,20	0,92	0,13	0,74

Quadro 14. Retorno anual de N, Ca, K, Mg, Mn e P ao solo, em g m⁻² ano⁻¹, através dos frutos de sobreiro, de 1994 a 1998. * Neste ano a colheita da folhada foi efectuada de Março a Dezembro.

	N	Ca	K	Mg	Mn	P
1994*	3,74	0,47	2,83	0,29	0,02	0,30
1995	0,03	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00
1996	2,03	0,33	1,71	0,20	0,02	0,18
1997	0,07	0,03	0,08	0,01	0,00	0,01
1998	1,23	0,45	1,08	0,19	0,04	0,10
média	1,42	0,26	1,15	0,14	0,02	0,12

Os valores das concentrações de N e P em 1995 e 1997 foram os mais baixos dos anos estudados, correspondendo a esses dois anos também as mais baixas produções de frutos.

A quantidade anual média de N, Ca, K, Mg, Mn e P devolvida ao solo (Quadro 14) através dos frutos foi de 1,42, 0,26, 1,15, 0,14, 0,02 e 0,12 g m⁻² ano⁻¹, respectivamente. Os frutos foram o componente da folhada, que apresentou os valores de retorno médio anual mais elevados de K e P.

4.1.1.2.1.5. Folhada total

A quantidade anual média de N, Ca, K, Mg, Mn e P devolvida ao solo (Quadro 15) através da folhada total foi de 5,18, 3,40, 2,83, 0,78, 0,23 e 0,34 g m⁻² ano⁻¹, respectivamente.

No ano de 1994, apesar da recolha de folhada ter sido efectuada apenas durante 10 meses, registaram-se as quantidades mais elevadas de N, K e P devolvidas ao solo nos cinco anos de estudo, pela folhada total de sobreiro. Este facto deveu-se à elevada quantidade de frutos produzidos nesse ano. Em 1997, verificaram-se as maiores devoluções de Ca, Mg e Mn ao solo, devido à elevada produção de folhas da folhada ocorrida nesse ano.

Quadro 15. Retorno anual de N, Ca, K, Mg, Mn e P ao solo, em g m⁻² ano⁻¹, através de todos os componentes da folhada de sobreiro, de 1994 a 1998. * Neste ano a colheita da folhada foi efectuada de Março a Dezembro.

	N	Ca	K	Mg	Mn	P
1994*	7,28	3,24	4,70	0,83	0,20	0,54
1995	4,05	3,40	2,12	0,61	0,23	0,24
1996	5,00	3,02	2,76	0,69	0,20	0,36
1997	5,05	4,70	2,19	1,07	0,34	0,29
1998	4,55	2,66	2,35	0,68	0,20	0,28
média	5,18	3,40	2,83	0,78	0,23	0,34

4.1.1.3. DECOMPOSIÇÃO E DINÂMICA DE LIBERTAÇÃO DOS NUTRIENTES DAS FOLHAS

4.1.1.3.1. Caracterização das folhas usadas no estudo da decomposição

As folhas da folhada de sobreiro colocadas a decompor em Outubro de 1994, apresentavam a composição mineral e química descrita no Quadro 16. O N, Ca e K foram os nutrientes com concentrações mais elevadas; o teor de fibras (holocelulose + lenhina) era muito elevado, ascendendo a 54,8% da MO total.

Quadro 16. Características minerais e orgânicas das folhas da folhada colocadas a decompor em Outubro de 1994.

N	Ca	K	Mg	Mn	P	Cinza	Lípidos	Holocelulose	Lenhina	C/N	Lenhina/N
mg g ⁻¹ peso seco						mg g ⁻¹ MO					
8,18	6,23	4,73	1,62	0,58	0,47	38,0	33,6	311	237	58,8	27,9

Os valores das concentrações de nutrientes nas folhas usadas no processo de decomposição foram semelhantes aos valores médios ponderados obtidos para as folhas da folhada colhidas em 1994 (Quadro 6) e estão contidos nos intervalos de valores referidos por Oliveira (1995), num estudo de decomposição de folhas de sobreiro. O teor de fibras total foi semelhante ao registado por Gallardo & Merino (1993); no entanto, o valor correspondente à lenhina foi superior nas folhas usadas no presente estudo, cerca de 43% do valor total de fibras, em relação ao referido por aqueles autores, cerca de 30% do valor total de fibras.

Os valores das concentrações de N e P (Quadro 16) foram cerca de metade dos referidos por Madeira & Serralheiro (1990), sucedendo o inverso com os valores da razão C/N. Estas diferenças devem-se, provavelmente, às diferentes épocas de colheita das folhas de sobreiro colocadas a decompor. No presente trabalho usaram-se as folhas da folhada colhidas em Março-Abril de 1994, quando a quantidade de folhas que sofreram abscisão foi maior e as

concentrações de N e P eram mais baixas. No trabalho de Madeira & Serralheiro (1990) as folhas de sobreiro usadas no estudo de decomposição foram colhidas em Setembro, quando a queda de folhas tende a ser menor e as concentrações de N e P são geralmente mais elevadas.

4.1.1.3.2. Perda de peso e taxa de decomposição

Ao longo do processo de decomposição das folhas ocorreram diversas fases em que a perda de peso se processou mais rapidamente (Figura 16).

Nos primeiros cento e vinte e oito dias o valor da constante de decomposição k foi de $-0,772 \text{ ano}^{-1}$ ($r^2_{aj}=0,998$, $n=3$, $p<0,001$), correspondendo a uma perda de peso de 23%. Esta primeira fase, em que a libertação da MO foi muito rápida, correspondeu ao Outono e Inverno (94/95), em que as chuvas ocorridas (Figura 5) terão contribuído para a lixiviação de constituintes hidrossolúveis.

Seguiu-se outra fase em a velocidade de decomposição foi mais lenta, $k= -0,476 \text{ ano}^{-1}$ ($r^2_{aj}=0,946$, $n=4$, $p=0,004$), correspondendo à Primavera e Verão de 1995; durante esta fase, em duzentos e vinte e três dias, a MO remanescente decresceu apenas 10%.

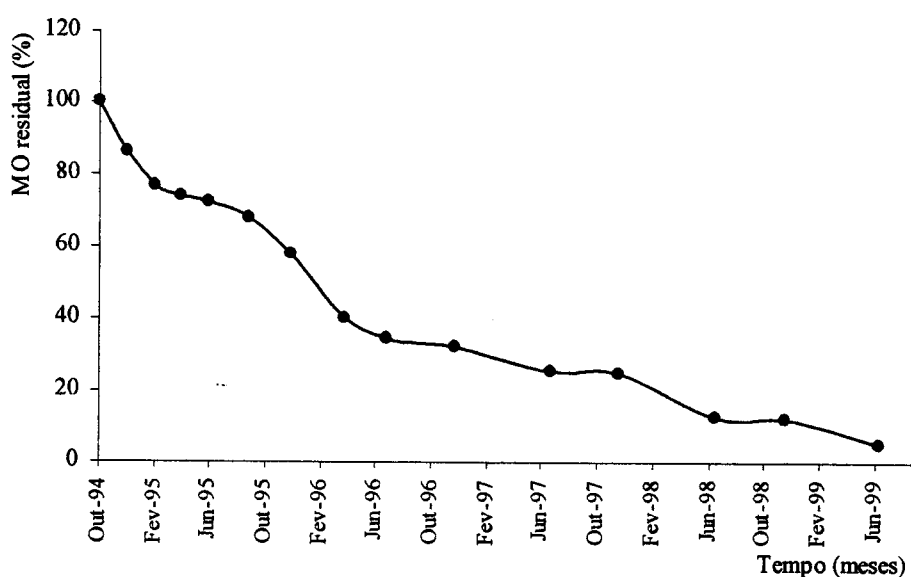


Figura 16. Percentagem da matéria orgânica (MO) remanescente ao longo do processo de decomposição das folhas de sobreiro.

De Setembro/95 a Abril/96 ocorreu outra etapa, na qual a MO se libertou mais rapidamente, $k = -0,525 \text{ ano}^{-1}$ ($r^2_{aj}=0,963$, $n=3$, $p=0,012$), e em duzentos e cinco dias a MO remanescente baixou de 67% para 40%. Esta fase correspondeu ao Outono e Inverno (95/96), e a precipitação registada foi mais intensa do que a do ano anterior (Figura 5).

A partir de Julho/96, em que a amostragem se efectuou em Julho e Dezembro de cada ano, o processo de decomposição foi-se tornando cada vez mais lento, alternando fases em que a MO remanescente praticamente não se alterou, com fases de redução importante da MO. Nos períodos de Julho a Dezembro de 1996, 1997 e 1998 a percentagem de redução da MO foi respectivamente de 2,3%, 0,7% e 0,2%; entre Dezembro e Julho de 96/97, 97/98 e 98/99 a redução da MO registou valores muito superiores, respectivamente de 6,2%, 12,4% e 7,3%.

Considerando todo o período de estudo, a taxa de decomposição apresentou o valor de $-0,536 \text{ ano}^{-1}$ ($r^2_{aj}=0,984$, $n=15$, $p<0,001$). O “turnover” da folhada estimado foi de um ano e dez meses e o tempo de semi-vida das folhas foi de um ano e três meses.

A proporção de MO libertada apresentou uma correlação forte com a precipitação acumulada ($r^2=0,967$, $n=15$, $p<0,01$), durante o período de estudo.

4.1.1.3.3. Dinâmica de nutrientes e materiais orgânicos

A libertação dos nutrientes não decorreu de forma constante, nem foi igual para todos eles, ao longo do processo de decomposição (Figura 17).

A proporção remanescente de N nas folhas de sobreiro, após um ligeiro decréscimo de 5% nos primeiros dois meses, manteve-se próxima dos 100% durante, aproximadamente, um ano, correspondendo à retenção de N. Findo este período, a proporção de N baixou para 82%, durante o Inverno e a Primavera de 1996, subindo novamente, para atingir ainda 92% em Julho/96. Após esta fase, iniciou-se, então, a libertação acentuada de N, restando apenas 17% da sua percentagem inicial no fim do período de estudo.

O Ca apresentou valores superiores a 100%, durante os dois primeiros anos de estudo (Figura 17). Após esta fase de imobilização libertou-se rapidamente e ao fim de três anos restavam 26% do Ca inicial. Passados quase cinco anos a proporção remanescente de Ca foi de apenas 10%.

O padrão de libertação do Ca foi muito semelhante ao do N, mas o primeiro evidenciou fases de imobilização e libertação mais distintas e acentuadas do que o segundo. As proporções de N e Ca remanescentes, ao longo do período de estudo, correlacionaram-se positivamente entre si ($r^2=0,882$, $n=15$, $p<0,001$).

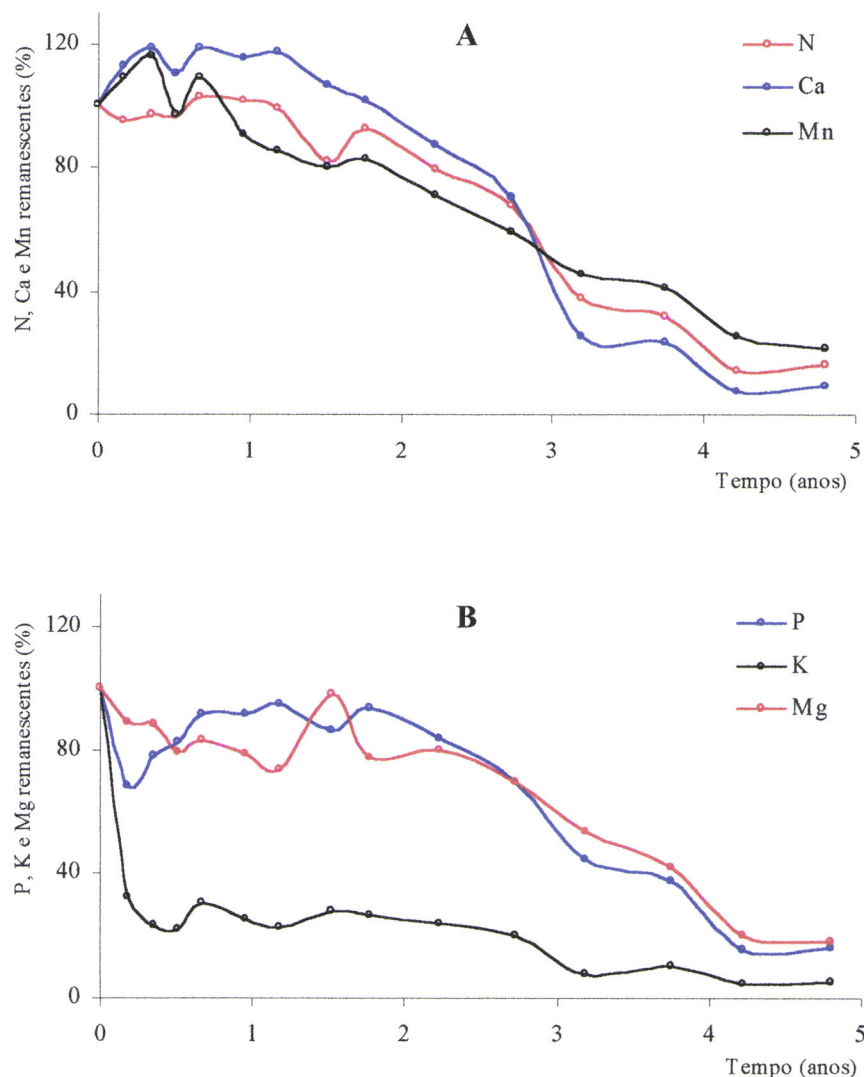


Figura 17. Proporções remanescente de N, Ca, Mn, (A) P, K e Mg (B) ao longo do processo de decomposição de folhas de sobreiro.

O Mn, tal como o Ca, aumentou a sua proporção inicial durante os primeiros duzentos e quarenta e sete dias do processo de decomposição (Figura 17). A partir de Junho/95 iniciou a sua libertação, de uma forma quase linear, até ao final do período de estudo, mantendo ainda nessa data 22% da sua percentagem inicial. Este elemento foi o que ofereceu mais resistência à libertação, apresentando no final do estudo a proporção remanescente mais elevada.

O padrão de libertação do Mn apresentou algumas semelhanças com o do N e do Ca, embora com um período de imobilização mais curto. Verificou-se uma correlação positiva entre as proporções remanescentes de Mn e de N ($r^2=0,889$, $n=15$, $p<0,001$) e de Mn e de Ca ($r^2=0,900$, $n=15$, $p<0,001$) ao longo do período de decomposição das folhas de sobreiro.

O P sofreu uma diminuição importante nos primeiros sessenta e cinco dias (Figura 17), reduzindo-se a 70% do seu valor inicial e a partir desse momento aumentou a sua proporção, chegando a atingir 95%. Depois de se imobilizar durante quase dois anos, iniciou a sua libertação, restando no fim do processo de decomposição apenas 17% do seu valor inicial.

O P e o N apresentaram um padrão de libertação semelhante, excepto para os primeiros dois meses do processo de decomposição, tendo-se imobilizado durante os primeiros dois anos. As suas proporções remanescentes correlacionaram-se positivamente ($r^2=0,811$, $n=15$, $p<0,001$) ao longo do período de estudo.

O Mg iniciou a sua libertação no início do processo de decomposição (Figura 17) e ao fim de quatrocentos e trinta e um dias reduziu-se a 74% do seu valor inicial. Quatro meses passados, aumentou a sua percentagem (98%), para voltar a decrescer em seguida até final do período de estudo, mantendo ainda 18% da sua quantidade inicial.

O K foi o elemento que se libertou mais rapidamente (Figura 17), pois passados dois meses existiam apenas 30% da sua quantidade inicial. Após esta fase de intensa libertação, seguiu-se um período em que a sua proporção se reduziu mais lentamente, finalizando o estudo com apenas 5% do seu valor inicial.

Todas as proporções remanescentes dos elementos analisados se correlacionaram significativa e positivamente entre si, mas, excluindo as correlações referidas no texto, as restantes foram muito fracas (com um valor baixo de r^2).

Passados dois anos do início do processo de decomposição, todos os elementos se encontravam em fase de libertação e os padrões evidenciados foram muito idênticos em todos eles, independentemente da velocidade de decréscimo de cada um. Deste modo, os valores das correlações entre as proporções remanescentes dos nutrientes, dos dois anos até final do período de estudo, foram muito elevadas (r^2 superior a 0,9) e altamente significativas ($p < 0,001$).

A proporção de lenhina remanescente aumentou durante os primeiros dois meses (Figura 18) para 140% do seu valor inicial. Manteve-se acima dos 100% durante um ano e, após esta fase, iniciou-se o decréscimo da lenhina presente, de uma forma quase linear, até final do processo de decomposição, restando apenas 7% da lenhina inicial.

O acréscimo inicial de lenhina poder-se-á atribuir à formação de substâncias, decorrentes do metabolismo microbiano, que vão engrossar a fracção do ADL.

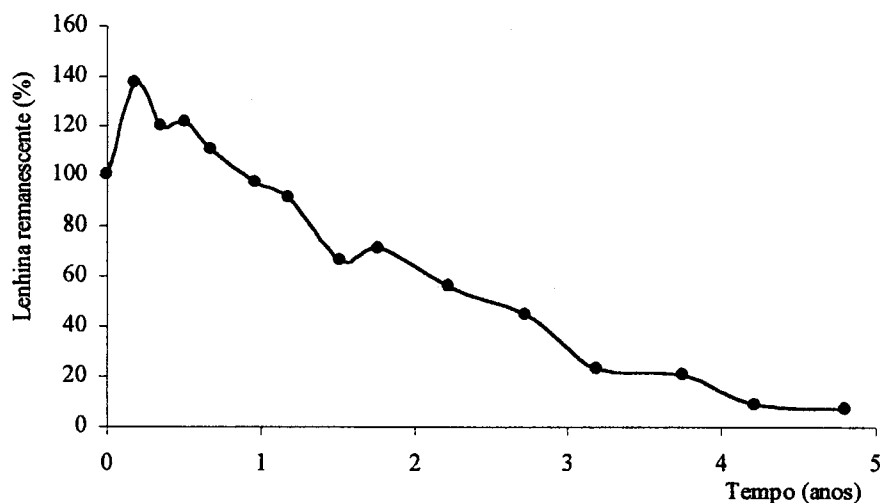


Figura 18. Proporção remanescente de lenhina ao longo do processo de decomposição de folhas de sobreiro.

A holocelulose apresentou um padrão de decomposição (Figura 19) muito diferente da lenhina. Nos primeiros dois meses reduziu a sua proporção para 74%, indicando que alguns dos materiais pertencentes a este grupo foram rapidamente degradados por microorganismos existentes no solo. Após esta primeira fase, a sua percentagem oscilou à volta dos 80%, com um máximo destacado em Abril/96. A partir daí e até final do terceiro ano, a degradação da

holocelulose prosseguiu com grandes oscilações, com baixas acentuadas da sua proporção nas épocas de Inverno e Primavera e com ligeiras subidas nas épocas de Verão e Outono. A partir do terceiro ano, em que restavam 66% da holocelulose inicial, a degradação da holocelulose foi rápida e linear, finalizando o período de estudo com 17% do seu valor inicial.

A holocelulose e a MO remanescentes evidenciaram um padrão muito semelhante, encontrando-se fortemente correlacionadas ($r^2=0,957$, $n=15$, $p<0,001$).

A razão lenhina/N apresentou uma forte correlação com o peso remanescente da MO ($r^2=0,896$, $n=15$, $p<0,001$), ao longo do período de estudo. Esta correlação, foi mais elevada do que a determinada entre o peso remanescente da MO e a razão lenhina/(lenhina+holoceluloses) ($r^2=0,853$, $n=15$, $p<0,001$).

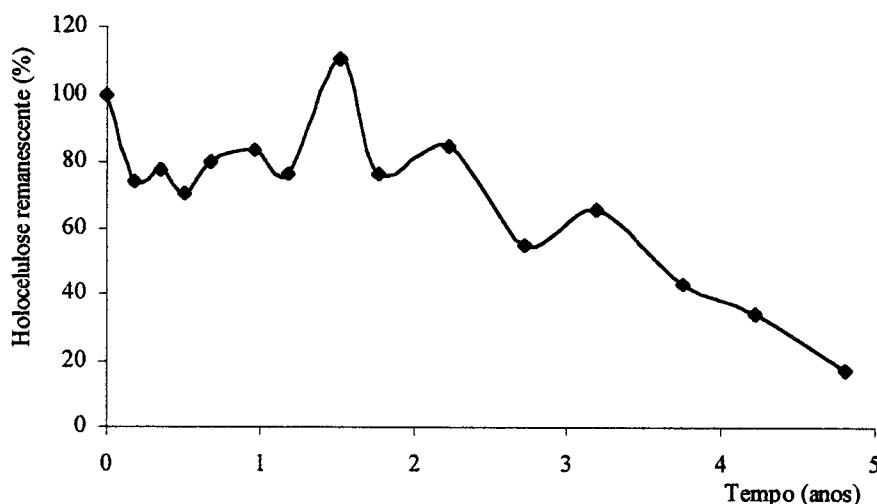


Figura 19. Proporção remanescente de holocelulose ao longo do processo de decomposição de folhas de sobreiro.

Os lípidos existentes nas folhas de sobreiro em decomposição, foram degradados muito rapidamente durante os primeiros cento e vinte e oito dias (Figura 20), reduzindo-se a 70% da sua quantidade inicial. Passado pouco mais de um ano, a maioria dos lípidos tinha sido decomposta, restando apenas 7%. No restante período do processo de decomposição a quantidade de lípidos foi decrescendo lentamente, com pequenas oscilações, e no final do estudo remanesceram apenas 3% da quantidade inicial de lípidos.

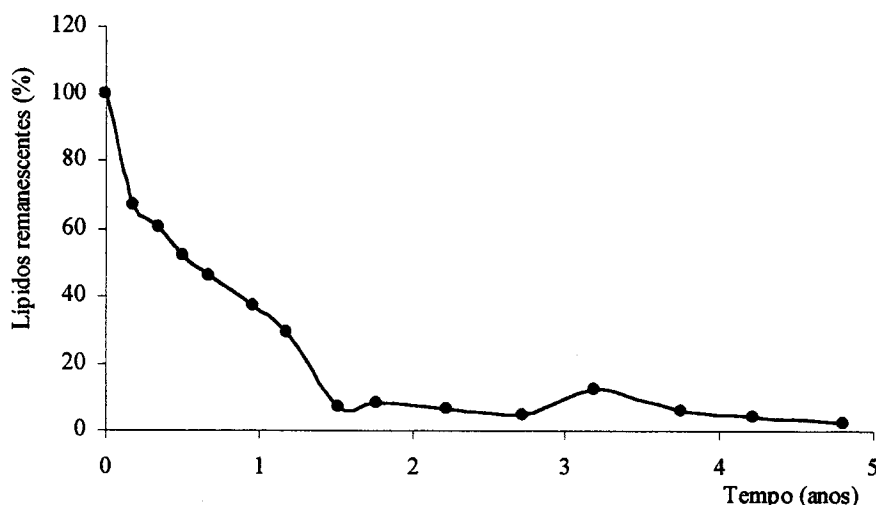


Figura 20. Proporção remanescente de lipídios ao longo do processo de decomposição de folhas de sobreiro.

A concentração de N (em relação à matéria orgânica) nas folhas de sobreiro (Figura 21) foi aumentando com o decorrer do processo de decomposição e passados seiscentos e quarenta e seis dias era quase o triplo do seu valor inicial, depois, manteve-se com algumas oscilações (22-26 mg g⁻¹ de MO) até ao final do estudo. A partir dos seiscentos e quarenta e seis dias de decomposição iniciou-se a rápida mineralização do N, dado ter-se atingido relativa estabilidade do seu teor na MO e da razão C/N (22). A razão C/N apresentou uma forte correlação com a percentagem de MO remanescente, ao longo do processo de decomposição ($r^2=0,96$, $p<0,001$, $n=15$).

A concentração de P na MO (figura 22), depois de um ligeiro decréscimo (de 20%), foi aumentando e passados seiscentos e quarenta e seis dias atingiu um valor muito superior (2,7 vezes maior) do que o inicial. Manteve uma concentração de 1,3 mg g⁻¹ de MO durante um ano, registando depois grandes oscilações até final do processo de decomposição. Tal como para o N, o processo de mineralização deverá ter-se iniciado aos seiscentos e quarenta e seis dias, apresentando a razão C/P o valor 373.

A razão C/P também apresentou uma boa correlação com a percentagem de MO remanescente ($r^2=0,81$, $p<0,001$, $n=15$), mas menos forte do que a razão C/N.

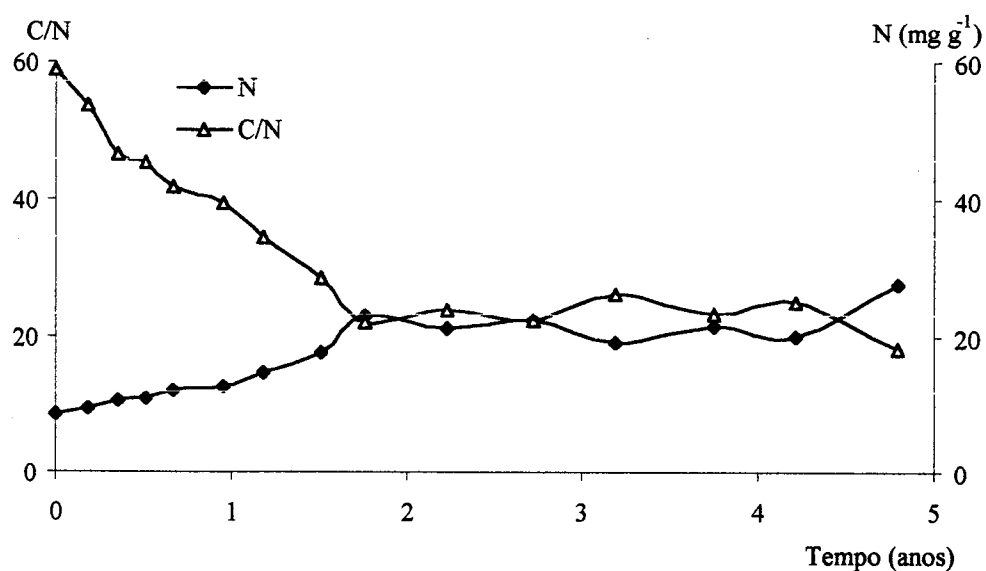


Figura 21. Concentração de N na MO e razão C/N ao longo do processo de decomposição das folhas de sobreiro.

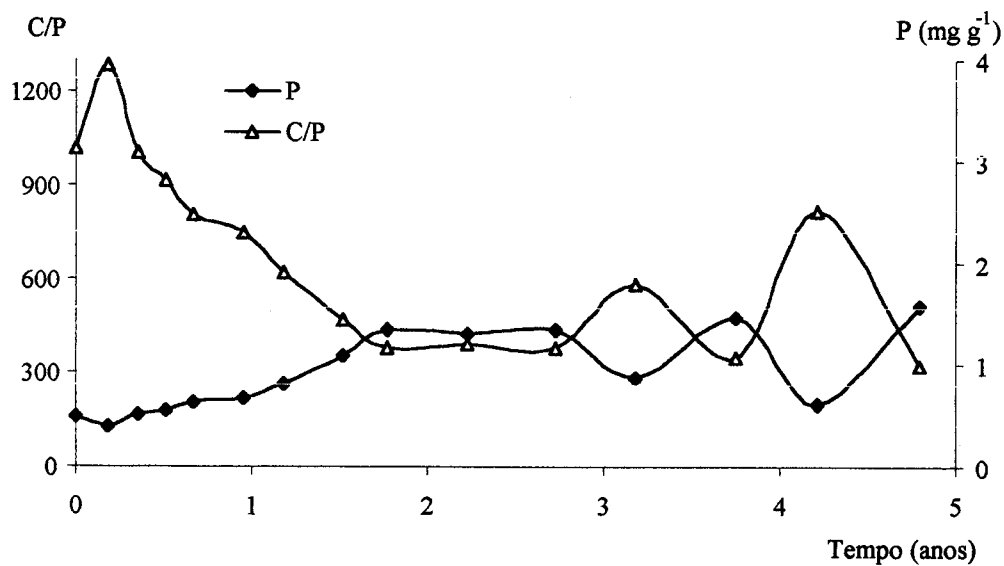


Figura 22. Concentração de P na MO e razão C/P ao longo do processo de decomposição das folhas de sobreiro.

4.1.1.4. TEOR DE HUMIDADE E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

4.1.1.4.1. Teor de água no solo *in situ*

Os teores da humidade do solo variaram ao longo dos anos de estudo e com as estações do ano, tendo sido sempre mais elevados para as ASC do que para as AFC (Quadro 17), existindo diferenças significativas entre a humidade do solo das duas áreas ($t=9,74$, $n=156$, $p>0,001$). Os resultados obtidos para a percentagem de humidade no solo (Quadro 17) evidenciaram uma variabilidade superior, em cada data de amostragem, para as ASC. Obtiveram-se os teores mais baixos de humidade no solo entre Abril e Junho e os mais elevados em Janeiro, tanto para as ASC como para as AFC.

No Inverno 95/96 e na Primavera de 1996, o teor de humidade no solo foi superior aos outros anos, tanto para as ASC como para as AFC. Para este facto, contribui a elevada precipitação ocorrida entre Dezembro/95 e Fevereiro/96 (587 mm) (Figura 5), muito superior à verificada na mesma época do ano transacto (146 mm). Os valores da precipitação registada entre Março-Maio/96 (200 mm) foram igualmente superiores aos verificados entre Março-Maio/95 (61 mm) e entre Março-Maio/94 (140 mm).

A precipitação registada e a percentagem de humidade do solo, em ambas as áreas, apresentaram-se positivamente correlacionadas, para o mesmo período de tempo, (ASC-Precipitação: $r^2=0,70$, $n=26$, $p<0,001$; AFC-Precipitação: $r^2=0,79$, $n=26$, $p<0,001$), tendo a correlação entre a precipitação e a humidade do solo nas AFC sido mais forte do que nas ASC. Os valores da humidade do solo entre as duas áreas também evidenciaram uma variação semelhante (AFC-ASC: $r^2=0,87$, $n=26$, $p<0,001$) com um valor de correlação superior aos registados entre a humidade do solo e a pluviosidade.

Ao longo do período de estudo, os valores de humidade do solo da camada 0-5 cm das ASC (Figura 23) foram, quase sempre, muito superiores aos das restantes camadas da mesma área e a todas as camadas das AFC. Na maioria das datas de amostragem, o teor de humidade do solo da camada 0-5 cm das ASC foi significativamente diferente de todos os outros,

Quadro 17. Valores médios da humidade do solo e respectivos desvios padrão, nas ASC e nas AFC, em 1994 (Março a Junho), em 1994/95 (Novembro a Maio) e em 1995/96 (Dezembro a Junho), I-primeira quinzena do mês e II-segunda quinzena do mês.

		Humidade do solo (%)			
		ASC		AFC	
		média	desvio padrão	média	desvio padrão
1994	Mar	7,0	2,90	4,0	1,04
	Abr I	5,5	0,97	4,1	0,29
	Abr II	8,5	2,43	6,0	0,99
	Mai I	4,9	2,06	3,3	0,73
	Mai II	13,8	4,36	12,6	1,58
	Jun	5,0	1,19	4,9	1,00
	Nov	14,5	8,38	9,9	1,32
	Dez	13,0	8,12	10,0	1,60
1995	Jan	16,0	12,01	11,5	1,05
	Fev	14,4	4,25	9,8	0,90
	Mar I	10,9	3,24	9,6	1,45
	Mar II	7,4	2,16	3,8	0,63
	Abr I	7,0	2,52	2,4	0,29
	Abr II	4,1	0,45	2,2	0,24
	Mai I	8,2	4,90	4,1	0,98
	Mai II	4,0	0,35	1,7	0,51
	Dez	15,5	2,99	12,9	3,01
1996	Jan	33,8	18,17	14,7	5,19
	Fev	29,8	11,32	11,6	1,71
	Mar I	25,9	11,89	10,9	1,93
	Mar II	25,7	12,77	9,4	1,12
	Abr I	16,7	7,29	8,1	1,19
	Abr II	8,4	2,72	3,6	0,66
	Mai I	13,4	6,33	10,7	2,32
	Mai II	10,8	2,99	4,4	1,08
	Jun	3,4	0,66	1,8	0,34

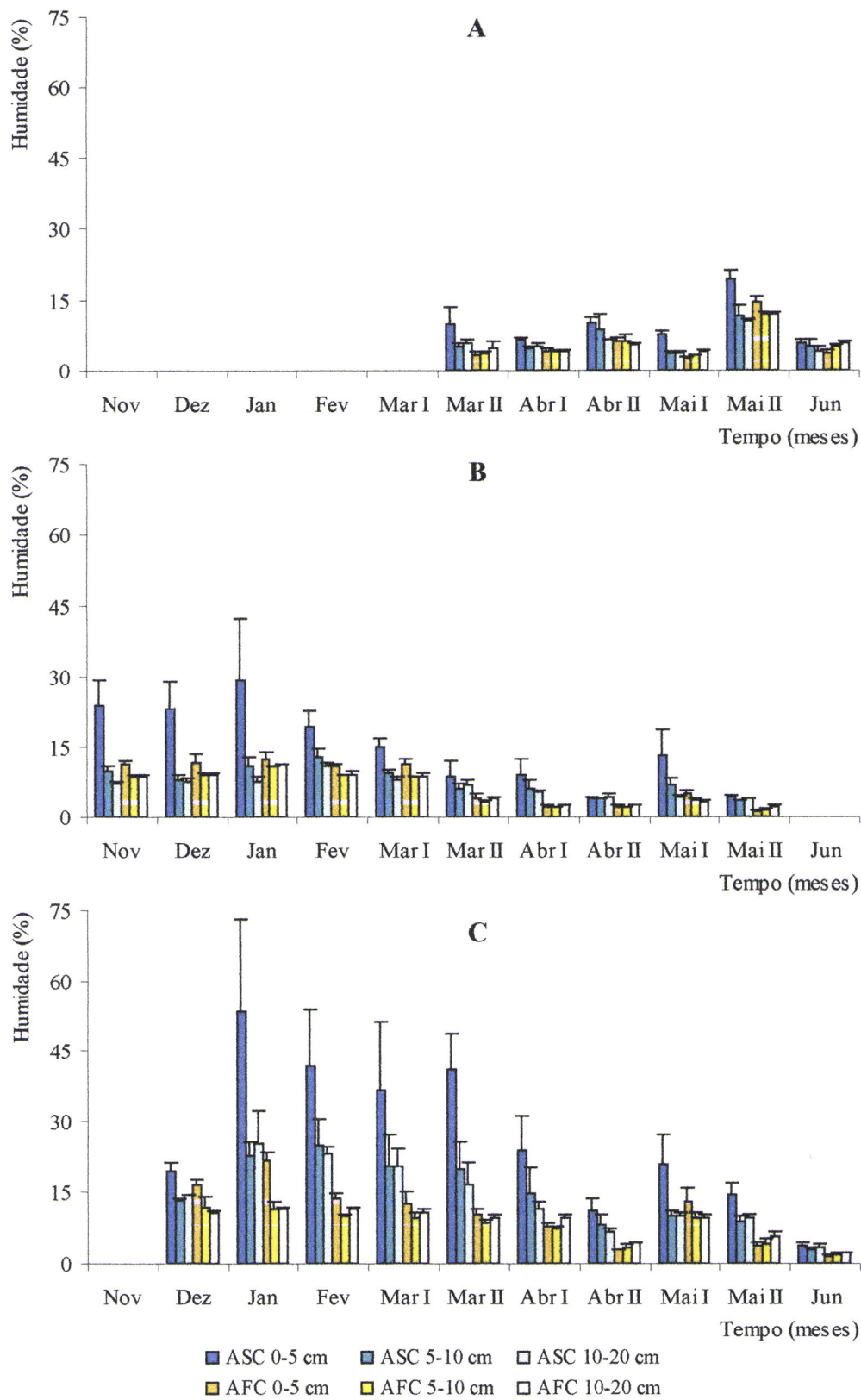


Figura 23. Percentagem de humidade no solo, das ASC e das AFC, para três níveis de profundidade (0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm) e respectivos desvios padrão, em 1994 (Março a Junho) (A), em 1994/95 (Novembro a Maio) (B) e em 1995/96 (Dezembro a Junho) (C).

provavelmente devido à maior capacidade de retenção de água da camada mais superficial das ASC.

Na segunda quinzena de Março e durante Abril de 1995 e nas segundas quinzenas de Março, Abril e Maio de 1996, o teor de humidade do solo não diferiu em profundidade, encontrando-se diferenças significativas apenas entre as ASC e as AFC. Talvez a vegetação herbácea, em pleno desenvolvimento na época primaveril, possa ter extremado as diferenças entre as ASC e AFC, por um lado, favorecendo a penetração de água até camadas mais profundas nas ASC, e por outro, utilizando uma grande parte da água disponível nas AFC.

4.1.1.4.2. Capacidade de retenção de água no solo

Nas amostras de solo colhidas na AFC, não se verificaram diferenças significativas entre os valores de humidade, obtidos para as três profundidades, para cada valor de pF (Figura 24). Por esse motivo, estimou-se a percentagem média de água no solo por cada valor de pF, para a profundidade de 0-20 cm: $pF(1,8)=12,3\%$; $pF(2,54)=7,6\%$; $pF(4,2)=5,8\%$. As médias encontradas diferiram significativamente entre si ($F_{(2,51)}=134,3$, $p<0,000$).

As amostras de solo da ASC (Figura 24) evidenciaram uma maior variabilidade em profundidade, existindo diferenças significativas entre a percentagem de humidade retida na camada 0-5 cm e as restantes profundidades ($pF(1,8)-F_{(2,15)}=22,6$, $p<0,001$; $pF(2,54)-F_{(2,15)}=37,9$, $p<0,001$ e $pF(4,2)-F_{(2,15)}=6,6$, $p=0,009$); no entanto, os valores de retenção de água no solo das camadas 5-10 cm e 10-20 cm, não diferiram significativamente. Pelo exposto anteriormente, calculou-se a percentagem média de água no solo, para cada valor de pF, a duas profundidades: 0-5 cm: $pF(1,8)=25,8\%$; $pF(2,54)=14,3\%$; $pF(4,2)=8,0\%$, e 5-20 cm $pF(1,8)=13,9\%$; $pF(2,54)=7,4\%$; $pF(4,2)=6,3\%$. Estes resultados estão de acordo com os valores de humidade obtidos nas amostragens efectuadas entre 1994 e 1996, nas ASC e AFC (Figura 23).

As médias das percentagens de retenção de água no solo das ASC, obtidas na camada 0-5 cm, diferiram entre si para todos os valores de pF ($F_{(2,15)}=29,7$, $p<0,001$). Os valores da capacidade de retenção de água no solo da camada 5-20 cm, também apresentaram diferenças ($F_{(2,33)}=53,8$, $p<0,001$) entre o valor de $pF(1,8)$ e os outros dois valores de pF.

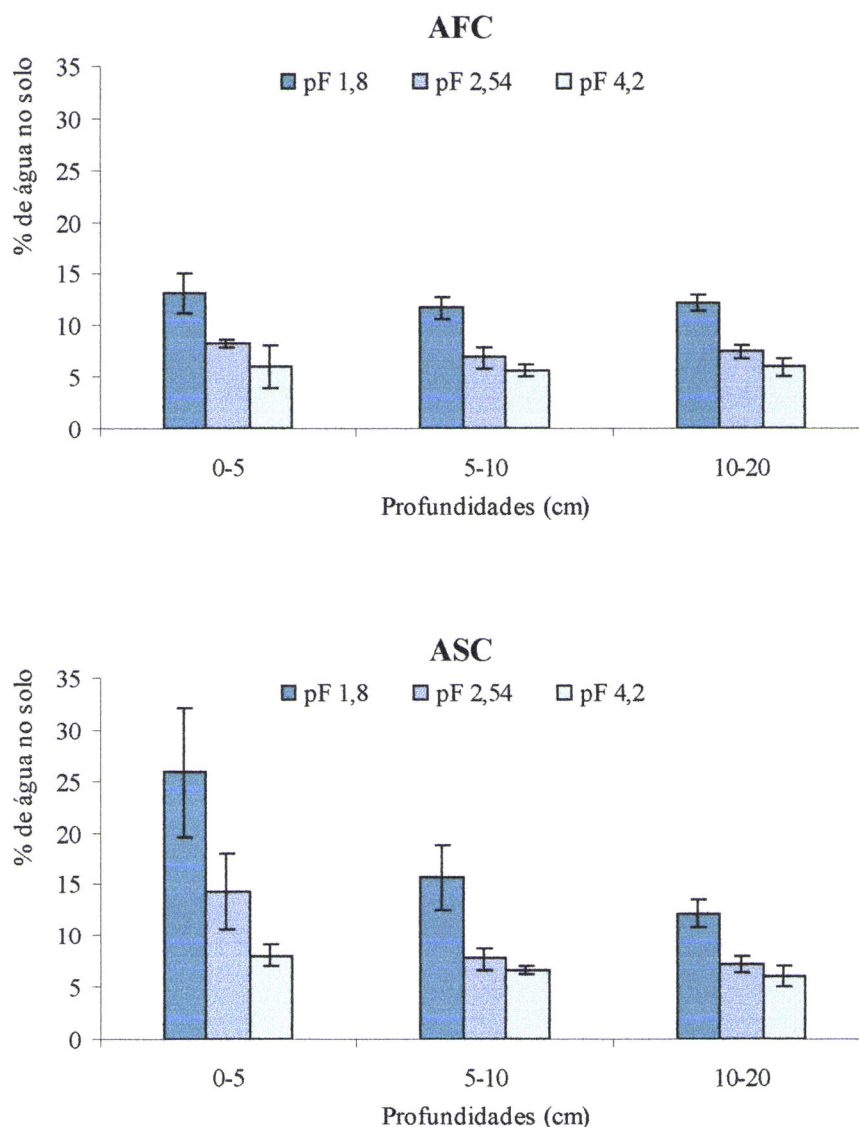


Figura 24. Percentagens de retenção de água no solo, para cada valor de pF, nas AFC e nas ASC e respectivos desvios padrão, para as três profundidades amostradas, em Janeiro de 1997.

Analisando os valores obtidos nas AFC e nas ASC, verificou-se que as percentagens de humidade do solo das camadas 5-20 cm das ASC não diferiram das registadas para as camadas 0-20 cm das AFC, para todos os valores de pF. As camadas 0-5 cm das ASC foram as que apresentaram maior capacidade de retenção de água, quando sujeitas a diversas pressões (Figura 25), diferindo significativamente dos valores das camadas 5-20 cm (ASC) e 0-20 cm (AFC), obtidos para todos os valores pF, ($pF(1,8)-F_{(3,33)}=39,9$, $p<0,001$; $pF(2,54)-F_{(3,33)}=49,8$, $p<0,001$ e $pF(4,2)-F_{(3,33)}=13,6$, $p<0,001$).

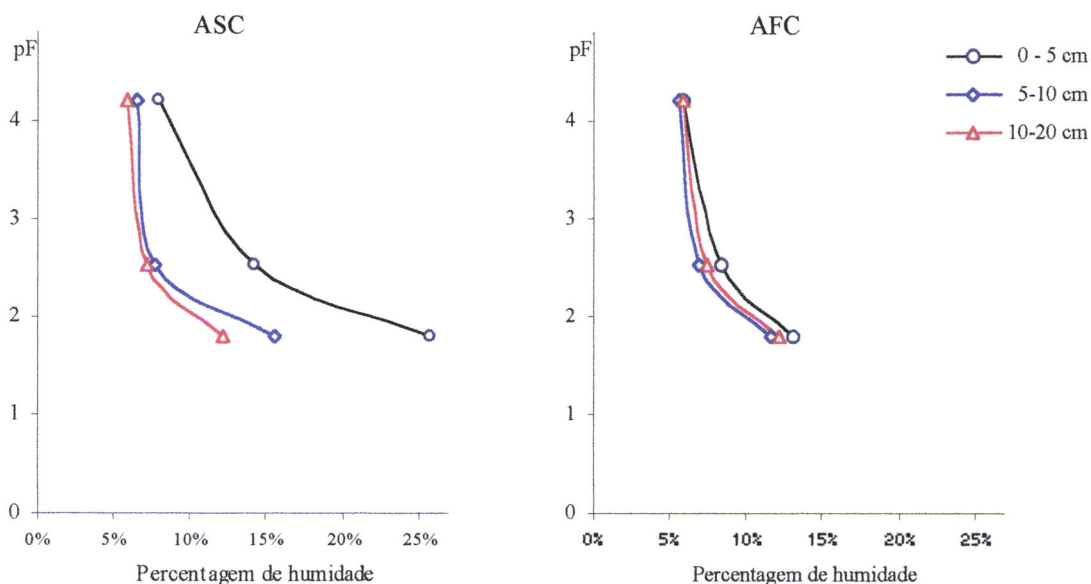


Figura 25. Curvas de tensão de humidade do solo das ASC e das AFC, para as profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm, em Janeiro de 1997.

4.1.1.4.3. Caracterização química do solo

Os valores obtidos para os parâmetros químicos do solo não evidenciaram diferenças entre as datas de amostragem, excepto para o K extraível das ASC, que registou valores superiores em Dezembro/95 em relação a todas as restantes datas de amostragem.

Os valores de pH, tanto em água como em cloreto de potássio, não apresentaram diferenças entre as ASC e as AFC.

Os elementos analisados apresentaram diferenças significativas entre as ASC e as AFC, registando valores médios superiores (Quadros 18 e 19) para as ASC: $N_{(ASC)} - N_{(AFC)} - t=4,04$, $n=12$, $p=0,002$; $P_{(ASC)} - P_{(AFC)} - t=3,26$, $n=12$, $p=0,008$; $K_{(ASC)} - K_{(AFC)} - t=4,51$, $n=12$, $p=0,001$; $C_{(ASC)} - C_{(AFC)} - t=4,92$, $n=12$, $p<0,001$; $C_{\text{humificado(ASC)}} - C_{\text{humificado(AFC)}} - t=4,27$, $n=12$, $p=0,001$ e $C_{\text{não-humificado(ASC)}} - C_{\text{não-humificado(AFC)}} - t=3,60$, $n=12$, $p=0,004$.

As diferenças assinaladas nas concentrações de nutrientes deverão ter por base a deposição de folhada nas áreas sob copa, promovendo o enriquecimento do solo nestas áreas em relação às áreas fora da influência das copas.

Quadro 18. Valores médios do azoto total, do carbono orgânico total e da fracção de carbono orgânico humificado e não-humificado (em mg g^{-1}). Razões entre a fracções de carbono orgânico humificado (Ch) / não humificado (Cnh) e carbono/azoto para as amostras de solo das AFC e das ASC, em Dezembro e Junho, de 1995 e 1996.

Profundidade (cm)	Carbono Orgânico						Ch/Cnh		N		C/N	
	C total		C humificado		C não-humificado							
	AFC	ASC	AFC	ASC	AFC	ASC	AFC	ASC	AFC	ASC	AFC	ASC
0-5	17,1 \pm 4,6	39,6 \pm 6,1	9,7 \pm 1,5	15,1 \pm 6,3	7,4 \pm 3,1	24,5 \pm 7,6	1,31	0,62	1,4 \pm 0,3	2,7 \pm 0,8	12,5	14,7
5-10	7,2 \pm 0,5	23,0 \pm 7,4	4,8 \pm 1,2	12,7 \pm 3,3	2,4 \pm 1,0	10,3 \pm 4,1	2,00	1,23	0,5 \pm 0,1	1,5 \pm 0,5	14,1	15,1
10-20	6,4 \pm 0,6	11,2 \pm 2,0	5,0 \pm 0,6	8,1 \pm 1,2	1,4 \pm 0,5	3,1 \pm 0,7	3,57	2,61	0,5 \pm 0,1	0,7 \pm 0,2	14,1	15,3

Quadro 19. Valores médios do fósforo e potássio extraíveis (em $\mu\text{g g}^{-1}$) e do pH para as amostras de solo das AFC e das ASC, em Dezembro e Junho, de 1995 e 1996.

Profundidade (cm)	Extraíveis						pH			
	P		K		H ₂ O		KCl			
	AFC	ASC	AFC	ASC	AFC	ASC	AFC	ASC	AFC	ASC
0-5	14,3 \pm 4,6	34,6 \pm 12,9	102 \pm 35	313 \pm 98	5,6 \pm 0,2	5,4 \pm 0,1	4,4 \pm 0,3	4,5 \pm 0,1		
5-10	4,5 \pm 3,7	18,6 \pm 18,6	126 \pm 43	248 \pm 128	5,7 \pm 0,2	5,5 \pm 0,2	4,3 \pm 0,1	4,3 \pm 0,2		
10-20	2,2 \pm 1,4	9,3 \pm 11,1	123 \pm 13	209 \pm 85	5,6 \pm 0,4	5,6 \pm 0,3	4,2 \pm 0,2	4,3 \pm 0,3		

A razão $C_{\text{humificado}} / C_{\text{não-humificado}}$ foi superior nas AFC em relação às ASC para todas as profundidades analisadas (Quadro 18), indicando que a proporção de C não incorporado no solo foi superior nas ASC, com destaque para a camada mais superficial (0-5 cm ASC) em que a razão $C_{\text{humificado}} / C_{\text{não-humificado}}$ apresentou um valor inferior à unidade. No entanto, os valores absolutos de C incorporado no solo nas ASC foram duas vezes superiores aos registados nas AFC. A razão $C_{\text{humificado}} / C_{\text{não-humificado}}$ foi superior nas camadas mais profundas das duas áreas, onde os detritos orgânicos se encontram num estado de decomposição avançado em relação às camadas mais superficiais. Assim sendo, nas ASC, em especial nas camadas superficiais, a proporção de C proveniente de resíduos orgânicos, vegetais e animais, foi proporcionalmente superior à quantidade de C incorporado no solo.

Os valores de N e C obtidos no solo das duas áreas, apresentaram correlações significativas ($N_{(AFC)}-N_{(ASC)}$, $r^2=0,70$, $n=12$, $p=0,011$; $C_{(AFC)}-C_{(ASC)}$, $r^2=0,66$, $n=12$, $p=0,02$), indicando que o seu padrão de variação entre as datas de amostragem e as profundidades foi semelhante. Os valores mais elevados de N e C nos solos das AFC, registaram-se em Dezembro de 1995, tendo as proporções desses elementos sido mais elevadas em Julho de 1996 no solo das ASC.

Nas AFC as quantidades de N e C correlacionaram-se fortemente ($r^2=0,99$, $n=12$, $p<0,001$), tendo sido as correlações entre o N e o P ($r^2=0,79$, $n=12$, $p=0,002$) e o P e o C ($r^2=0,73$, $n=12$, $p=0,007$) mais fracas. Nas ASC as quantidades de N, P e C não evidenciaram um padrão de variação tão próximo como os referidos para a AFC, apresentando o N e o C uma correlação forte ($r^2=0,95$, $n=12$, $p<0,001$), o P e o C uma correlação mais fraca ($r^2=0,59$, $n=12$, $p=0,04$), não existindo correlação significativa entre o N e o P. As diferenças observadas entre as duas áreas deverão ter origem no inferior grau de mineralização da MO existente no solo das ASC em relação ao das AFC.

Não se verificaram diferenças entre as três profundidades para todos os valores de pH, de K, e de $C_{\text{humificado(ASC)}}$ e $P_{(ASC)}$. A camada 0-5 cm apresentou valores superiores aos das camadas mais profundas, diferindo delas significativamente, para o $N_{(AFC)}$, $N_{(ASC)}$, $P_{(AFC)}$, $C_{(AFC)}$, $C_{\text{humificado(AFC)}}$, $C_{\text{não-humificado(AFC)}}$. Os valores de $C_{(ASC)}$ e $C_{\text{não-humificado (ASC)}}$ apresentaram diferenças entre as três profundidades amostradas. Os nutrientes libertados pela manta morta e pela fitomassa subterrânea das herbáceas existentes nas áreas amostradas, contribuíram

certamente para que a camada mais superficial do solo, tanto da ASC como da AFC, possua uma maior concentração de nutrientes, em especial de C e N, que as camadas mais profundas.

4.1.1.5. RADIAÇÃO SOB E FORA DA COPA

A percentagem de radiação fotossinteticamente activa (PAR) interceptada pelas copas de sobreiro, ao longo de um dia de “céu limpo”, não variou muito ao longo dos anos de estudo (Quadro 20). A percentagem média de radiação directa interceptada foi de 81% e a percentagem de radiação difusa de 61%. A radiação difusa poderá dar uma indicação dos processos ocorridos durante um dia de céu nublado, significando neste caso que a quantidade de radiação interceptada será menor num dia encoberto que num dia de céu limpo.

A variação anual da quantidade da PAR interceptada está relacionada com o facto das medições não se terem efectuado no mesmo dia juliano de cada ano e com a variabilidade da própria copa do sobreiro.

Quadro 20. Percentagem média da PAR, directa e difusa, e respectivos desvios padrão, interceptada ao longo de um dia pelas copas de sobreiro.

	Dia Juliano	Radiação Directa	Radiação Difusa
		média diária (%)	média diária (%)
1994	170	77 ± 5	65 ± 11
1995	136	86 ± 5	68 ± 4
1996	145	80 ± 16	50 ± 10
média		81 ± 10	61 ± 12

4.1.2. DISCUSSÃO

Fenologia foliar

A variabilidade do comportamento fenológico dos sobreiros estudados deverá ter como origem variações individuais (etárias, genéticas, sanitárias) e microclimáticas (disponibilidade hídrica, insolação, temperatura). Tal facto também foi constatado por Oliveira (1995) em estudos de fenologia de sobreiro.

Não obstante a variação individual, na maioria dos sobreiros estudados ocorreram duas épocas de crescimento com formação de novas folhas: uma no início da Primavera (Abril-Maio), provavelmente recorrendo às reservas fotossintéticas acumuladas durante o Outono e Inverno (Pereira *et al.*, 1987), e outra no Verão (Junho-Agosto), utilizando a energia produzida durante a estação primaveril, em que a disponibilidade hídrica e as temperaturas são mais favoráveis ao desenvolvimento vegetal. Na segunda época formaram-se menos folhas que na primeira e durante um período mais alargado, talvez porque este segundo crescimento esteja mais dependente das condições climáticas e de reservas energéticas suficientes para o investimento em novas folhas.

A abscisão foliar ocorreu, em grande parte, simultaneamente com a formação das novas folhas primaveris, este comportamento foi também constatado por Pereira *et al.* (1987) e por Oliveira (1995), em estudos da fenologia de sobreiro, e por Lossaint & Rapp (1978) para outros *Quercus* de folha persistente.

Os valores da translocação de N, P e K das folhas de sobreiro foram elevados, tanto em 1996 como em 1997, ou seja, ocorreu uma reabsorção activa de nutrientes das folhas senescentes e a sua transferência para outros órgãos da planta em crescimento ou para tecidos perenes. Este processo também foi observado por Chapin & Kedrowski (1983) em árvores de folha caduca e persistente e por Escarré *et al.* (1987) em *Q. ilex*. A translocação de nutrientes, dos órgãos em abscisão para outras estruturas da planta, confere às espécies que utilizam esta estratégia um maior controlo sobre a sua reserva de nutrientes, permitindo-lhes uma melhor gestão deste recurso (Chapin *et al.*, 1987).

A queda e formação simultânea de folhas, permite aos sobreiros renovar a sua copa, por vezes substituindo 70% das suas folhas (Pereira *et al.*, 1987), sem afectarem seriamente a sua área fotossinteticamente activa e sem grande investimento em nutrientes, reabsorvendo-os das folhas em senescência e deixando de depender unicamente da solução do solo, que muitas vezes é pouca rica em alguns dos nutrientes essenciais.

A maioria das folhas de sobreiro apresentaram uma longevidade limitada a cerca de um ano, como também foi constatado por Pereira *et al.* (1987) e por Oliveira (1995), contrariando as observações de Natividade (1950), que refere uma longevidade foliar de dois ou mais anos para as folhas de sobreiro.

A longevidade foliar tem um papel muito importante no balanço do carbono das plantas (Mooney & Gulmon, 1982). Os valores da translocação foliar e a baixa longevidade foliar, situam o sobreiro entre as espécies de folha persistente e as espécies caducifólias. Este aspecto foi salientado por Pereira *et al.* (1987) para o sobreiro e outras esclerófilas mediterrâneas. Merino (1987) efectuou um estudo sobre os custos de crescimento e manutenção de folhas de espécies mediterrânicas e verificou que o sobreiro apresentava um valor intermédio entre as espécies esclerófilas e as espécies caducifólias.

O início da formação de gemas foliares poderá ser determinado pela disponibilidade hídrica (Borchert, 1994) conjuntamente com as temperaturas registadas durante o período primaveril. No presente estudo, observou-se que em 1996 o processo de formação de novas folhas se iniciou mais cedo que em 1997 e a precipitação ocorrida entre Fevereiro e Março de 1996 foi de 109,5 mm e, para o mesmo período em 1997 de 8,5 mm (Figura 5), tendo as temperaturas do ar sido mais elevadas em 1997. Para além disso, a precipitação ocorrida entre Novembro/95 e Janeiro/96 foi muito superior (748,9 mm) à registada para o mesmo período no ano seguinte (466,9 mm), existindo portanto uma maior disponibilidade hídrica no solo nos primeiros meses de 1996 em relação a 1997. Neste caso, parece que a disponibilidade hídrica condicionou o momento de formação de novas folhas, não tendo a temperatura um papel decisivo. Verificaram-se situações semelhantes em anos posteriores, em que a quantidade de precipitação caída no Outono e na Primavera parece condicionar o início da formação de novas folhas (dados não publicados). As gemas foliares são formadas durante o Outono, mas o seu desenvolvimento só ocorre na Primavera, quando os factores climáticos são favoráveis (Pereira *et al.*, 1987).

As folhas formadas na Primavera de 1995 iniciaram a sua abscisão em Abril de 1996, tendo o Verão de 1995 apresentado valores médios (Figura 3) de precipitação (27,8 mm). O mesmo não sucedeu para as folhas formadas na Primavera de 1996, cujo processo de senescência e queda se iniciou em Setembro do mesmo ano, prolongando-se até Abril/97. A abscisão foliar prematura verificada no segundo ano de estudo, deverá ter estado relacionada com a fraca precipitação ocorrida durante o Verão, registando-se 3,6 mm de Junho a Agosto de 1996. Este comportamento poderá constituir uma estratégia para evitar a perda de água, pois alguns arbustos esclerófilos em condições de stress hídrico perdem durante o Verão as folhas formadas no início da Primavera (Pereira *et al.*, 1987).

Produção de folhada

A produção anual de folhada de sobreiro, $0,51 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ em média, não apresentou variações significativas ao longo dos anos de estudo. Os valores obtidos são da mesma ordem de grandeza dos referidos por Oliva *et al.* (1992) e por Caritat *et al.* (1993) para a mesma espécie, em ecossistemas florestais com clima mediterrânico (Cordilheira Litoral Catalã). As quantidades de folhada de sobreiro obtidas assemelham-se às registadas por Gómez *et al.* (1980), Rosich *et al.* (1989) e por Sá *et al.* (2000) em estudos efectuados em azinheiras.

As folhas da folhada de sobreiro constituíram a fracção predominante da folhada produzida anualmente, representando as folhas 33% a 68% do peso total da folhada (Quadro 5). Estas variações anuais da quantidade de folhas da folhada, deverão estar associadas à, maior ou menor, formação de gemas e novas folhas, no ano transacto ao da senescência foliar, dado que o tempo médio de vida das folhas é de doze meses. Por sua vez, a quantidade de folhas formadas deverá ter sido influenciada por factores climáticos, em especial, a precipitação registada durante o Outono e Inverno. Deste modo, a baixa quantidade de folhas da folhada registada em 1996 ($181 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$) (Quadro 5) deverá estar relacionada com a fraca precipitação (281 mm) ocorrida entre Outubro/94 e Fevereiro/95 (Figura 5), altura em que as gemas foliares se terão formado. Entre Outubro/95 e Fevereiro/96 (Figura 5), registou-

-se uma elevada precipitação (826 mm) e a quantidade de folhas senescentes quantificada em 1997 foi superior à dos outros anos estudados ($384 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$).

A importância da disponibilidade hídrica na fenologia foliar, reside no facto de esta facilitar a absorção de nutrientes pela planta, como por exemplo o N, que é essencial para formação de moléculas, como a rubisco, fundamentais para o processo fotossintético (Berendse *et al.*, 1999). Aumentando a produção e o armazenamento de matéria orgânica, nas épocas de maior disponibilidade hídrica, o sobreiro acumula recursos energéticos que lhe permitem investir na formação de novos órgãos, por exemplo folhas, quando a temperatura e o regime de radiação forem mais favoráveis.

Também a abscisão foliar parece ter sido influenciada por factores climáticos, neste caso, pela acção conjunta da temperatura e da precipitação. Em 1995, 1996 e 1998, a queda de folhas da folhada concentrou-se entre Março e Maio, cessando, praticamente, a partir de Agosto, (Figura 13). Registaram-se, nesses anos, fracas precipitações e temperaturas médias do ar elevadas em Junho, Julho e Agosto, (Figura 5) – respectivamente 27,8 mm e 25,7 °C, 3,6 mm e 25,3 °C e 9,7 mm e 24,7 °C – que deverão ter acelerado o processo de senescência foliar.

Em 1994, verificou-se uma queda moderada de folhas da folhada no Outono e Inverno, tendo sido a temperatura estival alta (25,3 °C) e a precipitação muito fraca (1,6 mm) e as temperaturas médias, para o período de Setembro a Dezembro, um pouco mais elevadas (17,7 °C) que a média. A fraca pluviosidade estival associada a temperaturas estivais e outonais elevadas, poderão ter prolongado a abscisão foliar nos sobreiros, devido aos gastos de manutenção das folhas existentes se terem tornado muito elevados.

A queda de folhas da folhada, em 1997, iniciou-se em Janeiro e prolongou-se pelo Outono e Inverno (Figura 13), atingindo o valor mais elevado dos cinco anos estudados. Por um lado, os sobreiros deverão ter produzido uma quantidade elevada de folhas em 1996, nos dois períodos de crescimento, devido à forte pluviosidade registada e, atendendo a que o tempo médio de vida das folhas é de um ano, as folhas formadas em 1996 teriam sofrido abscisão durante o ano de 1997. Por outro lado, durante o período outonal (Setembro a Dezembro de 1997) registaram-se temperaturas muito acima da média (18,6 °C) (Figura 5), que poderão ter desencadeado a abscisão foliar prematura.

Em 1998, a quantidade de folhas caídas em Janeiro e Fevereiro foi muito superior à dos outros anos. Por hipótese, poder-se-ão ter formado muitas folhas novas no segundo

período de crescimento em 1997, devido ao Verão invulgarmente chuvoso (87,3 mm), e essas folhas terem sofrido abscisão entre Janeiro e Fevereiro de 1998, devidos às temperaturas, elevadas para a época, registadas durante esse período (14,1 °C).

A produção de frutos de sobreiro ocorreu em anos alternados, 1994, 1996 e 1998, e diminuiu do primeiro (400 g m⁻² ano⁻¹) para o último ano (120 g m⁻² ano⁻¹), apresentando em 1996 um valor intermédio. A frutificação bienal é típica de uma variedade de sobreiros (Natividade, 1950), sendo talvez esse o caso do presente estudo; no entanto, informações adicionais são necessárias para o confirmar. A produção de bolotas variou em quantidade ao longo dos anos de estudo, mas, contrariamente ao referido por Natividade (1950), as maiores produções não coincidiram com os anos de Primaveras mais chuvosas. Por exemplo, em 1997, uma das Primaveras em que se registaram precipitações mais elevadas (190 mm), a produção de frutos foi de apenas 12 g m⁻² ano⁻¹.

As concentrações médias anuais dos nutrientes analisados, nos componentes da folhada de sobreiro, foram semelhantes às referidas por Oliveira (1995), para todos os nutrientes excepto o Ca, que no presente trabalho apresentou uma concentração superior em todos os órgãos. As folhas de sobreiro apresentaram concentrações anuais médias de N, P, K e Ca um pouco mais baixas e uma concentração de Mg superior, que as referidas por Caritat *et al.* (1993). As divergências entre os valores obtidos no presente no trabalho e os referidos pelos outros autores têm certamente por base diferentes características individuais dos sobreiros (idade, estado nutricional e sanitário, genoma) e diferentes condições edafoclimáticas.

As concentrações de N, P e K variaram inversamente com a quantidade de folhas da folhada, o que reforça a ideia de translocação activa de nutrientes das folhas senescentes para outros órgãos da planta. Segundo Killingbeck (1996), as espécies que evidenciam amplitudes anuais na concentração de nutrientes das folhas senescentes idênticas às observadas, podem ser classificadas como eficientes na reabsorção desses nutrientes. O Ca, Mg e Mn, ao contrário dos elementos anteriormente referidos, apresentaram concentrações superiores nas folhas da folhada em relação a folhas jovens. O Ca é um constituinte importante das paredes celulares, sendo considerado um mineral imóvel em caso de deficiência (Taiz & Zeiger, 1998), concentrando-se nos componentes de classe etária superior.

A importância dos nutrientes analisados, por ordem decrescente, foi: N>K>Ca>Mg>P>Mn nas inflorescências e nos frutos, Ca>N>K>Mg>P>Mn nos raminhos e N>Ca>K>Mg>Mn>P nas folhas. As diferenças observadas deverão estar relacionadas com as funções desempenhadas pelos órgãos do sobreiro, por exemplo a concentração de Mn foi superior, em valor absoluto e relativo, nas folhas, estando este elemento relacionado com os processos da fotossíntese e respiração (Mengel & Kirkby, 1987). Nos raminhos o Ca foi o elemento com concentração mais elevada, sendo este um elemento constituinte da lamela média das paredes celulares (Mengel & Kirkby, 1987), é usualmente abundante em zonas de maior actividade meristemática, como será o caso das gemas existentes nos raminhos. Segundo Escarré *et al.* (1987), a riqueza em Ca dos raminhos e do lenho, parece ser uma característica das espécies de *Quercus*, mesmo quando os indivíduos se desenvolvem em solos não calcários.

As inflorescências foram o componente que registou concentrações absolutas mais elevadas de todos os nutrientes, em especial, em N e P. As concentrações anuais de N e P, nas folhas e raminhos da folhada, apresentaram-se fortemente correlacionadas, bem como as concentrações de P e K, apenas para os raminhos. Oliveira (1995) também assinalou esta variação conjunta para as folhas, tendo encontrado outras para os raminhos (entre Ca-Mg e Ca-N). A associação linear das concentrações de N e P reflectem a estreita relação entre estes nutrientes, que são essenciais para a manutenção da integridade estrutural das plantas, e se encontram envolvidos nos processos de síntese proteica (Garten, 1976).

Os valores do retorno de N, K, Mg e Mn, contidos em todos os componentes da folhada de sobreiro, foram superiores aos registados para azinheira (Sá *et al.*, 2000), tendo o Ca e P apresentado valores de devolução ao solo semelhantes nas duas espécies.

As quantidades de nutrientes devolvidos ao solo pelas folhas da folhada, enquadraram-se nos valores referidos por Escarré *et al.* (1999) para florestas de *Q. ilex* na Catalunha, exceptuando o P, cujo valor obtido foi cerca de 50% inferior.

Se as bolotas de sobreiro não forem contabilizadas na devolução de nutrientes pela folhada, os valores de Ca e Mn sofreriam uma pequena redução (cerca de 8%), os valores de N, Mg e P baixariam quase um terço (respectivamente 27%, 28% e 35%) e a redução mais acentuada (41%) verificar-se-ia em relação ao K. Os frutos de sobreiro constituem, pelo exposto anteriormente, uma fonte de enriquecimento do solo, principalmente em K, mas também, moderadamente, em N, Mg e P.

Decomposição da folhada

Ocorreram fases distintas, durante o processo de decomposição das folhas da folhada de sobreiro: as que se caracterizaram pela rápida decomposição do substrato orgânico, que ocorreram nos primeiros cento e vinte e oito dias e entre Setembro/95 e Abril/96; e, as que registaram uma velocidade de decomposição mais lenta, que decorreram entre Fevereiro/95 e Setembro/95 e de Abril/96 até final do período de estudo. Nas épocas correspondentes ao Outono e Primavera o decréscimo da MO foi mais acentuado que durante as épocas de Inverno e Verão, exercendo a precipitação uma forte influência sobre o processo de decomposição.

Vários autores (Aber *et al.*, 1990; Madeira & Serralheiro, 1990; Cortez, 1996) descrevem um padrão de decomposição em que se verifica uma fase inicial rápida e curta, fase de lixiviação, e uma fase lenta e prolongada, fase de pós-lixiviação. No presente estudo, ocorreu uma fase inicial de lixiviação, mas durante a fase de pós-lixiviação ocorreram fases mais rápidas e mais lentas influenciadas pela precipitação ocorrida em cada época.

A velocidade de decomposição das folhas foi mais rápida no presente trabalho do que nos referidos por Oliveira (1995) e Madeira & Serralheiro (1990) e aproximou-se dos valores obtidos por Gallardo & Merino (1993), num estudo efectuado numa floresta climática de *Quercus suber* e *Quercus canariensis*, com clima mediterrânico. As concentrações de N e de P e o teor total de fibras (lenhina+holocelulose) nas folhas de sobreiro usadas no estudo de decomposição por Gallardo & Merino (1993) foram semelhantes aos do presente estudo. As características do substrato orgânico inicial, usado no presente trabalho, foram muito semelhantes às descritas por Oliveira (1995), em termos da razão C/N e da concentração em nutrientes, residindo as diferenças entre os dois estudos na data de início do processo de decomposição, Outubro no primeiro e Maio no segundo. Os materiais colocados a decompor em Outubro, sofreram, inicialmente, um forte processo de lixiviação, diminuindo rapidamente de peso, devido, essencialmente, à precipitação ocorrida durante o Outono e Inverno, o que não sucedeu quando o processo de decomposição se iniciou no final da Primavera, como no caso do estudo realizado por Oliveira (1995).

No estudo realizado por Madeira & Serralheiro (1990), as concentrações de N e P nas folhas a decompor foram superiores às obtidas no presente estudo, sucedendo o inverso com a razão C/N, no entanto, o processo de decomposição foi mais lento, no primeiro que no

segundo estudo. Talvez as diferentes condições edafoclimáticas, o método experimental (lisimetria e "litterbags") e a época de colheita das folhas usadas no processo de decomposição, estejam na origem das diferentes velocidades de decomposição.

A estação do ano em que se iniciou o ensaio (Outono), no presente estudo, e as temperaturas elevadas, em especial as registadas em 1997, e a precipitação bastante acima da média, registada para os anos de 1996 e 1997, deverão ser algumas das razões porque o processo de decomposição foi mais rápido que nos trabalhos citados.

Conclui-se, do exposto anteriormente, que a velocidade do processo de decomposição depende, em grande medida, das características edafoclimáticas da área de estudo, da época em que o estudo se inicia e da qualidade do substrato utilizado nesse estudo, em especial das concentrações de N e P e do teor total em fibras.

Nos primeiros cento e vinte e oito dias, após as primeiras chuvas outonais, ocorreu um rápido decréscimo da matéria orgânica, devido, provavelmente, à lixiviação de elementos solúveis, como refere Schlesinger (1985), e da colonização das folhas por bactérias, ascomicetes e deuteromicetes que degradaram hidratos de carbono (açúcares, amido e celulose não lenhificada) e outras moléculas orgânicas de baixo peso molecular (Hammel, 1997). Observou-se durante este período o decréscimo acentuado do teor em holoceluloses e lípidos (Figuras 19 e 20) e também de N, K, Mg e P (Figura 17). Nesta fase, apenas aumentaram a sua quantidade inicial a lenhina (Figuras 18) e o Ca e o Mn (Figura 17).

O Ca não foi afectado pela lixiviação, dado a integrar as estruturas mais resistentes, como por exemplo as paredes celulares. A lenhina, um dos materiais orgânicos mais recalcitrante à decomposição, não foi decomposta nas fases iniciais do processo de decomposição. O aumento inicial de alguns elementos poderá ser atribuído à biomassa microbiana existente nas folhas em decomposição e o aumento de lenhina pela formação de substâncias com características químicas (solubilidade em meio ácido) idênticas às da lenhina.

Numa segunda fase da decomposição, a taxa foi mais lenta, correspondendo a uma imobilização do N e do P, certamente devido à actividade dos organismos decompositores, e à sua incorporação em substâncias húmicas (Aber & Melillo, 1980). Nesta fase, em que as moléculas orgânicas mais simples já foram degradadas pelos decompositores, a fauna do solo (anelídeos, milípedes e gastrópodes) actua sobre as folhas em decomposição, fraccionando os materiais lenhino-celulósicos e incorporando-os na MO do solo (Hammel, 1997). Segue-se a



colonização do solo por basidiomicetes, que possuem enzimas específicas (peroxidases) para a decomposição extracelular da lenhina. Uma dessas enzimas é a MnP e actua nas fases iniciais da degradação da lenhina, dando origem a outros compostos mais simples, que posteriormente serão completamente decompostos por outras peroxidases (LiP), com maior poder oxidante (Wariishi *et al.*, 1991). A produção de MnP, por basidiomicetes, na fase inicial de degradação da lenhina, poderia ser uma das razões do aumento inicial da quantidade de Mn (Figura 17), cuja imobilização foi simultânea ao aumento da quantidade de lenhina.

A proporção remanescente de holoceluloses apresentou uma forte correlação com a MO remanescente, evidenciando que a degradação destes hidratos de carbono são bons descritores da degradação da MO de um modo global. Passado um ano e meio do início do processo de decomposição ocorreu um forte aumento da quantidade de holoceluloses, coincidindo com um forte decréscimo de lenhina e um aumento do Mg remanescente. Poder-se-ão avançar duas explicações não exclusivas: por um lado, durante a biodegradação da lenhina são formados compostos de carbono, que poderão ter engrossado as substâncias insolúveis em detergente em meio neutro (NDF) explicando o aumento das holoceluloses; por outro, o aumento de holoceluloses e Mg poderá significar a contaminação do material em decomposição por espécies autotróficas (protonemas de musgo, cianófitas) que se fixaram nesta zona devido à elevada concentração de nutrientes disponíveis.

A partir de meados do segundo ano de decomposição, todos os nutrientes baixaram o seu teor, ocorrendo este processo por degraus. As fases mais lentas coincidiram com o Verão e as mais rápidas com o Inverno e o Outono.

A forte correlação linear verificada entre a razão C/N e os valores da matéria orgânica remanescente, até final do terceiro ano de decomposição, sugerem que a perda de carbono tenha sido muito mais acentuada durante aquele período, do que a libertação de N. A concentração de N, nas folhas em decomposição, foi aumentando até atingir o nível de concentração crítica, aos seiscentos e quarenta e seis dias. A partir desse momento, a mineralização do N deverá ter assumido grande importância, dado ter sido atingido um valor da razão C/N (22) considerado adequado para a mineralização de N (Van Wesemael, 1993).

Verificou-se um padrão semelhante para a relação C/P, diferindo apenas num ligeiro aumento inicial, provocado pela diminuição da concentração de P, tendo-se iniciado o processo de mineralização aos seiscentos e quarenta e seis dias. A correlação entre a matéria orgânica e a razão C/P foi mais fraca que a verificada com a razão C/N.

Condições do solo

Os valores de humidade do solo foram superiores para as ASC em relação às AFC. As primeiras não estiveram sujeitas à insolação directa como as AFC, sendo de prever que registassem valores superiores de água no solo. O facto do solo das ASC estar praticamente coberto por folhada de sobreiro, também deverá ter contribuído para preservar o solo mais húmido. Holland (1980) também constatou que sob a copa de uma espécie de *Quercus* o solo apresentava maior teor de água do que nas zonas abertas.

Em 1996, o ano mais pluvioso dos três anos de estudo da vegetação herbácea, os valores de humidade do solo foram mais elevados do que os registados nos outros anos. A precipitação correlacionou-se com a humidade do solo, nas duas áreas, tendo sido essa correlação mais forte com as AFC, uma vez que as copas dos sobreiros deverão ter exercido um efeito de intercepção da pluviosidade nas ASC.

Nas AFC a capacidade de retenção de água no solo não foi significativamente diferente entre os 0 cm e os 20 cm de profundidade, variando consoante a pressão (valor de pF) aplicada a cada amostra. Nas ASC a camada de solo de 0-5 cm registou um comportamento diferente das restantes camadas, apresentando uma capacidade superior para a retenção de água. As camadas de 5-20 cm das ASC aproximaram-se das camadas de 0-20 cm das AFC, não existindo variações significativas entre elas.

Em relação às características químicas do solo, o pH, tanto em água como KCl, não diferiu entre ASC e AFC. Frost & Edinger (1991) num estudo realizado num sistema agroflorestal na Califórnia também não verificaram diferenças de pH entre zonas sob copa de *Quercus* e zonas abertas. Os valores de pH, em água, obtidos, tanto para a ASC como para a AFC, foram inferiores aos registados por Nunes (1998) para solo sob copa de azinheira (5,7). O pH em KCl foi semelhante ao registado por Nunes (1998) (4,3).

Para os elementos analisados, registaram-se diferenças, não só entre áreas mas também entre profundidades. Os valores de C orgânico total (C_{total}) e das fracções de C orgânico humificado e não-humificado e de N foram sempre superiores para as ASC em relação às AFC. Estas diferenças dever-se-ão provavelmente ao acréscimo de nutrientes no

solo das ASC, quer pela folhada, quer pela pluviosidade interceptada pelas copas de sobreiro. Frost & Edinger (1991) registaram valores semelhantes de C_{total} e N para áreas sob a copa de *Quercus* e *Pinus* e para as áreas fora da influência dessas copas, ocupadas por vegetação herbácea.

As razões de C_{total} e de N, entre as ASC e AFC, foram semelhantes às registadas por Nunes (1998), no entanto, as concentrações absolutas obtidas no presente estudo foram cerca do dobro das registadas no referido trabalho.

Também se verificaram diferenças nos teores de C_{total} , de N e de P a várias profundidades do solo, sendo as camadas mais superficiais mais ricas do que as camadas mais profundas, em ambas as áreas. Frost & Edinger (1991) também verificaram menores concentrações de nutrientes nas camadas de solo mais profundas em relação à camada mais superficial, no entanto as amplitudes de valores foram inferiores às registadas no presente estudo. O facto dos primeiros 5 cm de solo das ASC serem mais ricos em C_{total} , significa uma maior percentagem de matéria orgânica nessa área, podendo justificar a sua maior capacidade para reter água. As diferenças em profundidade assentam na maior actividade biológica das camadas superficiais, mais próximas da folhada em decomposição, e nas quais se concentraram maior quantidade de raízes. As concentrações de K foram muito superiores às registadas por Nunes (1998).

As diferenças observadas nos teores de nutrientes do solo deverão ter como origem dois processos distintos: 1) a devolução de nutrientes ocasionada pela precipitação sob coberto e pelo escorrimento ao longo do tronco, soluções que possuem valores mais elevados de K, P, nitratos e amónio do que a precipitação bruta (segundo Nunes (1998) num estudo efectuado em azinheira) e, 2) a devolução de nutrientes ao solo pela folhada de sobreiro, que apresentou valores elevados de retorno de N ($5,18 \text{ g m}^{-2}$), de K ($2,83 \text{ g m}^{-2}$) e moderados de P ($0,34 \text{ g m}^{-2}$).

Radiação sob e fora da copa

A percentagem média da PAR directa interceptada pelas copas dos sobreiros foi de 81% e a percentagem da PAR difusa interceptada de 61%. Os valores obtidos foram

semelhantes aos observados por Breckle (1966), para um montado de sobreiro na Catalunha, e enquadram-se nos valores da PAR interceptada pelas copas de *Betula* e *Picea* (Larcher, 1995) e *Pinus* (Cernusca, 1977).

A radiação difusa poderá dar uma indicação dos processos ocorridos durante dias de céu encoberto. Durante o ano ocorrem em média cento e oitenta e seis dias, em que o céu se encontra completamente limpo, em apenas 20% do período de insolação diária, variando o grau de nebulosidade durante as restantes horas do dia (Reis e Gonçalves, 1987).

Resumindo, tanto em dias de “céu limpo” como em dias de “céu nublado” a percentagem de luz interceptada pelas copas de sobreiro é muito elevada.

Os valores da PAR interceptada foram semelhantes nos três anos de estudo, indicando que a radiação absorvida pelas copas foi idêntica. No entanto, é difícil saber qual a área de folhas (LAI) que absorveu a radiação PAR, uma vez que os ramos deverão ter interceptado uma fracção significativa da PAR, como foi verificado por Ross para diversas espécies arbóreas (1981).

A qualidade da radiação também é afectada pelas copas, diminuindo a radiação emitida nos comprimentos de onda correspondentes ao azul e ao vermelho, em que as clorofilas têm máximos de absorção, e aumentando os comprimentos de onda correspondentes ao verde e aos infra-vermelhos, em que a absorção pelas clorofilas é mínima (Smith, 1982).

Do exposto anteriormente, parece muito provável que as herbáceas sob a influência das copas de sobreiro não recebem, durante todo o ano, a quantidade de radiação necessária para se desenvolverem equilibradamente, quer devido redução da quantidade de radiação PAR recebida, quer devido à diminuição da qualidade dessa radiação.

4.2. ESTRUTURA DO COBERTO, REGIME DA RADIAÇÃO E DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA E NUTRIENTES DA VEGETAÇÃO HERBÁCEA

4.2.1. RESULTADOS

4.2.1.1. FITOMASSA AÉREA E SUBTERRÂNEA

4.2.1.1.1. Fitomassa aérea

O padrão de desenvolvimento da vegetação herbácea foi idêntico para os três anos de estudo, tanto na AFC como na ASC. As primeiras plântulas surgiram durante o mês de Outubro, o seu desenvolvimento vegetativo máximo ocorreu no início da Primavera e entre o final de Maio e o princípio de Junho, no máximo desenvolvimento reprodutivo, registaram-se os valores mais elevados da fitomassa. A produção de fitomassa foi desigual para os três anos, tendo sido sempre superior em cada ano para as herbáceas da AFC (Figura 26).

Ocorreram duas épocas de maior incremento da biomassa aérea, a primeira durante Março (1995) ou Março-Abril (1994 e 1996) e a segunda nos finais de Maio. Os incrementos de biomassa verificados em 1996 foram mais acentuados que os dos anos anteriores, para os dois tipos de coberto. A produção máxima da biomassa aérea foi registada no início de Junho (1994 e 1996) e no final de Maio (1995). O desenvolvimento da vegetação foi mais precoce em 1995, tendo as fases de maior incremento e máximo da biomassa, ocorrido cerca de uma quinzena antes que nos outros anos. A produção de material vegetal acima do solo foi muito superior em 1996, em relação aos outros anos, tanto na AFC como na ASC.

O desenvolvimento da fitomassa aérea das herbáceas da AFC foi muito semelhante ao das herbáceas da ASC, estando os dois correlacionados positivamente ($r^2=0,98$, $n=28$, $p<0,001$), para os três anos de estudo. Os valores máximos da fitomassa aérea das herbáceas foram significativamente superiores em 1996 em relação aos outros dois anos, tanto para a

ASC ($F_{(2,6)} = 10,5$, $p < 0,05$) como para a AFC ($F_{(2,6)} = 21,7$, $p < 0,01$). A fitomassa aérea das herbáceas da AFC foi superior à das ASC, em todos os anos amostrados (1994 - $F_{(1,4)} = 13,3$, $p < 0,05$; 1995 - $F_{(1,4)} = 35,1$, $p < 0,01$; 1996 - $F_{(1,4)} = 34,7$, $p < 0,01$) (Quadro 24).

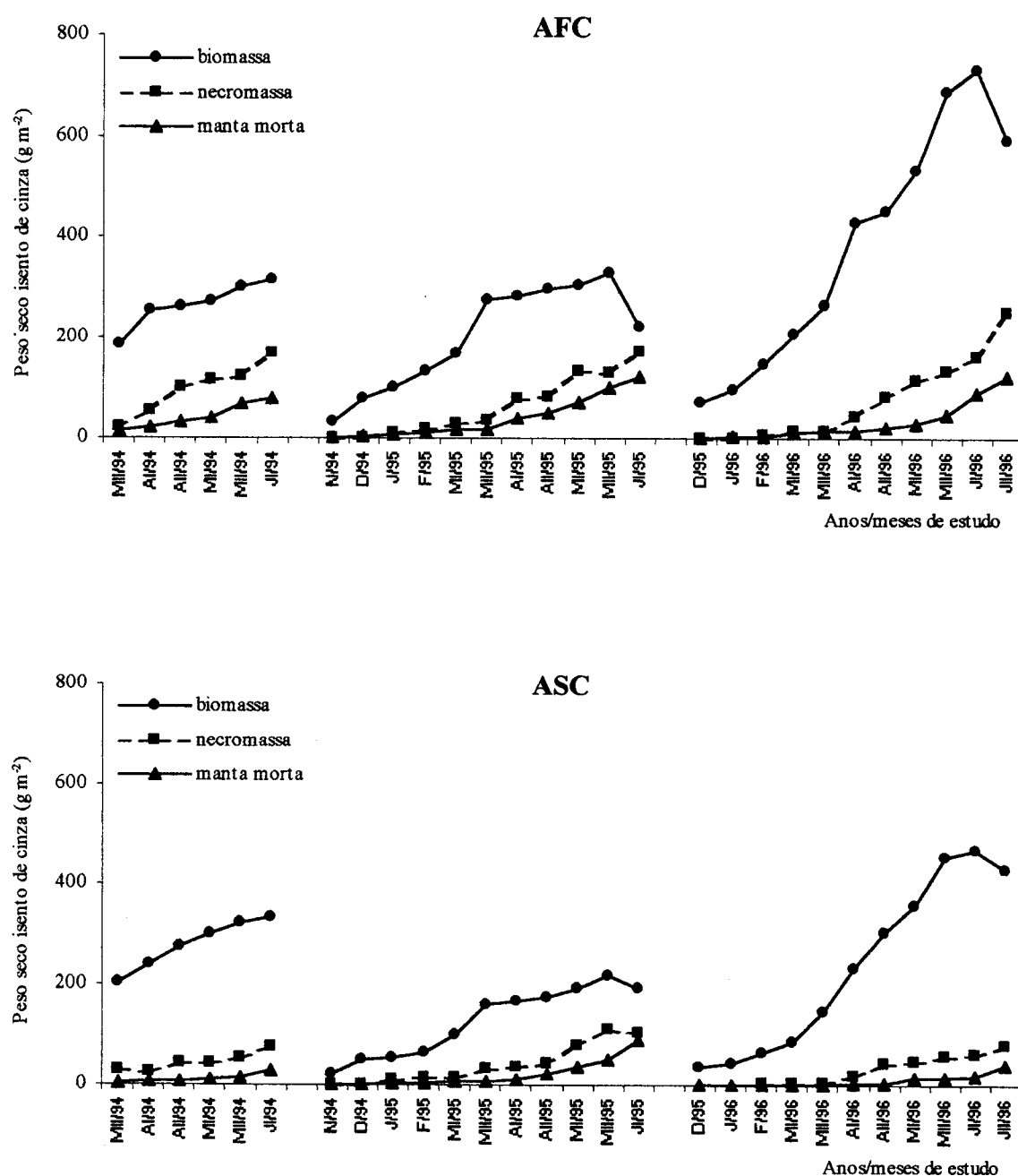


Figura 26. Variação sazonal da biomassa aérea, da necromassa e da manta morta de herbáceas (g m⁻²), da AFC e da ASC, nos três anos de estudo.

4.2.1.1.1. Componentes e índices da fitomassa aérea

Para caracterizar com maior detalhe os cobertos de herbáceas da ASC e da AFC, nos três anos de estudo, analisaram-se os componentes da fitomassa existente na época de máxima produção.

No máximo desenvolvimento da vegetação herbácea, em cada um dos três anos de estudo, os valores da fitomassa e da biomassa aéreas para a AFC (Figura 27) foram sempre superiores aos registados para a ASC. Esta situação verificou-se para os três anos de estudo. Os valores absolutos da biomassa foliar foram semelhantes em cada ano para os dois tipos de coberto, apenas em 1994 se registaram diferenças significativas ($F_{(1,4)} = 30$, $p < 0,005$). No entanto, as herbáceas da ASC apresentaram maior produção de folhas em relação à fitomassa total, do que as da AFC. Assim, a biomassa foliar das herbáceas da ASC representou 20% (1994 e 1995) a 30% (1996) da fitomassa total, enquanto a das herbáceas da AFC constituiu apenas 7% a 13%, de 1994 a 1995, aumentando em 1996 para 23%.

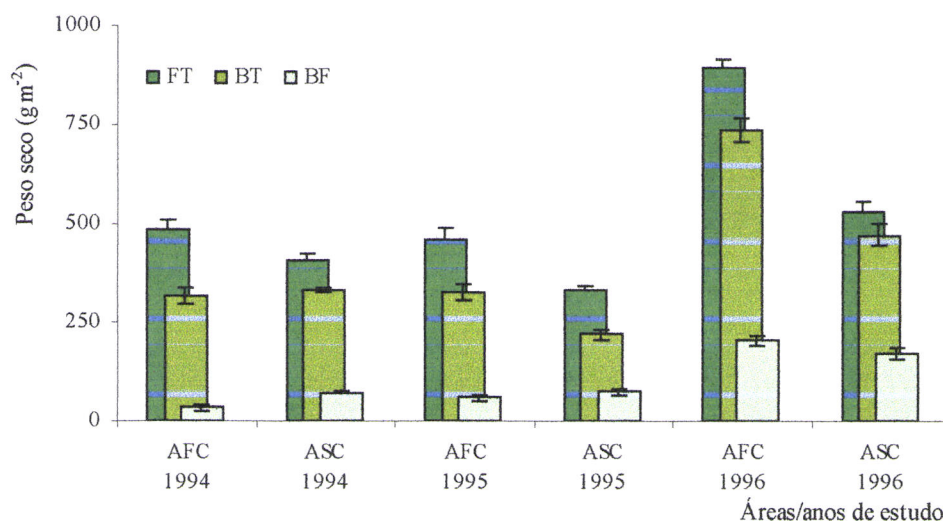


Figura 27. Fitomassa total (FT), biomassa total (BT) e biomassa foliar (BF), e respectivos erros padrão, das herbáceas da AFC e da ASC, para os três anos de estudo, no máximo desenvolvimento da vegetação.

No ano de 1996 registaram-se os valores mais elevados de biomassa foliar, sendo estes significativamente superiores aos valores dos outros anos, tanto para o coberto de herbáceas da AFC ($F_{(2,6)} = 134$, $p < 0,01$) como para o coberto da ASC ($F_{(2,6)} = 35$, $p < 0,01$).

Os componentes da fitomassa variaram ao longo dos anos e com o tipo de coberto (Figura 28). Em média, o investimento em folhas foi superior nas herbáceas da ASC (39%) em relação às herbáceas da AFC (28%), o inverso sucedeu em relação aos frutos, AFC (16%) e ASC (12%). Os caules foram a fracção predominante, nos dois cobertos de herbáceas em todos os anos de estudo, excepto em 1995 nas herbáceas da ASC, em que as folhas foram o componente mais representado.

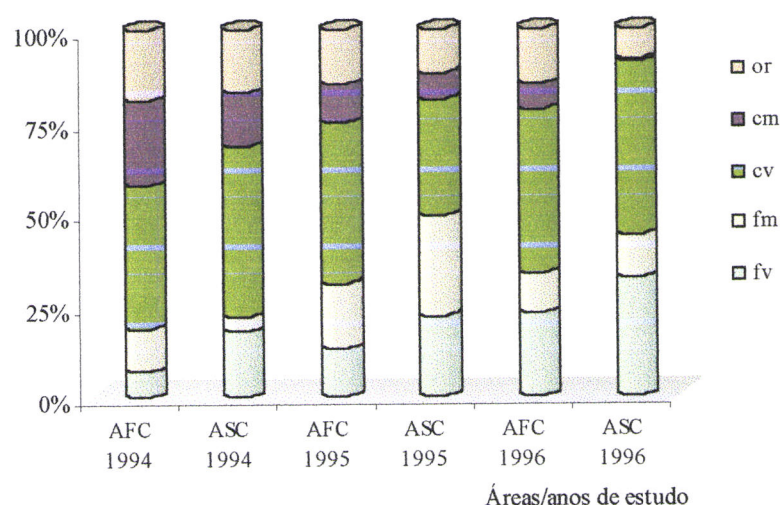


Figura 28. Percentagens relativas dos componentes da fitomassa aérea de herbáceas, folhas verdes (fv), folhas mortas (fm), caules verdes (cv), caules mortos (cm) e órgãos reprodutores (or), da ASC e da AFC, nos três anos de estudo, no máximo desenvolvimento da vegetação.

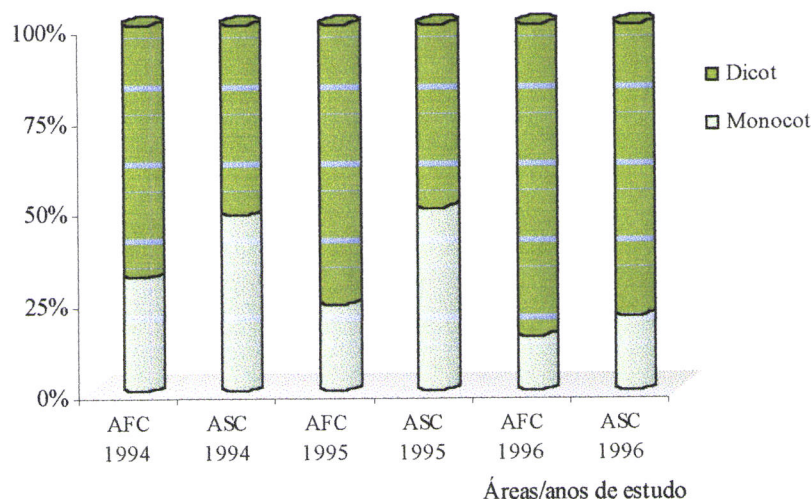


Figura 29. Proporção de Monocotiledóneas (Monocot) e Dicotiledóneas (Dicot) nos cobertos de herbáceas existentes na AFC e na ASC, para os três anos de estudo, no máximo desenvolvimento da vegetação.

Ao longo dos três anos a percentagem de folhas verdes tendeu a aumentar e sucedeu o inverso com os frutos. A percentagem de necromassa diminuiu muito no último ano, tanto para as herbáceas da AFC como para as da ASC.

A composição florística também variou ao longo do período de estudo (Figura 29). As Monocotiledóneas pertenciam quase todas à mesma família - gramíneas (*Poaceae*) -, enquanto as Dicotiledóneas se representaram por diversas famílias (Quadro 4), entre as quais se destacaram as compostas (*Asteraceae*) e as leguminosas (*Fabaceae*). As leguminosas representaram em média uma proporção significativa (cerca de 25%) das Dicotiledóneas existentes em 1994 e 1995, tanto no coberto herbáceo da ASC como no da AFC, tendo a proporção baixado em 1996 para ambas (cerca de 15%). No coberto herbáceo da AFC a percentagem de Monocotiledóneas foi de cerca de 31% em 1994 (Figura 29), decrescendo em 1995 para 24% e registando apenas 15% em 1996. No coberto herbáceo da ASC a percentagem inicial de Monocotiledóneas foi de 48%, subindo em 1995 para 50% e baixou em 1996 para cerca de 20%. A proporção dos dois grupos variou ao longo dos anos, é de salientar, no entanto, a forte diminuição da percentagem de Monocotiledóneas no último ano, para os dois cobertos.

As áreas dos componentes da fitomassa aérea das herbáceas da ASC foram superiores às da AFC (Figura 30). Deste modo, a relação área/peso seco foi muito superior para o

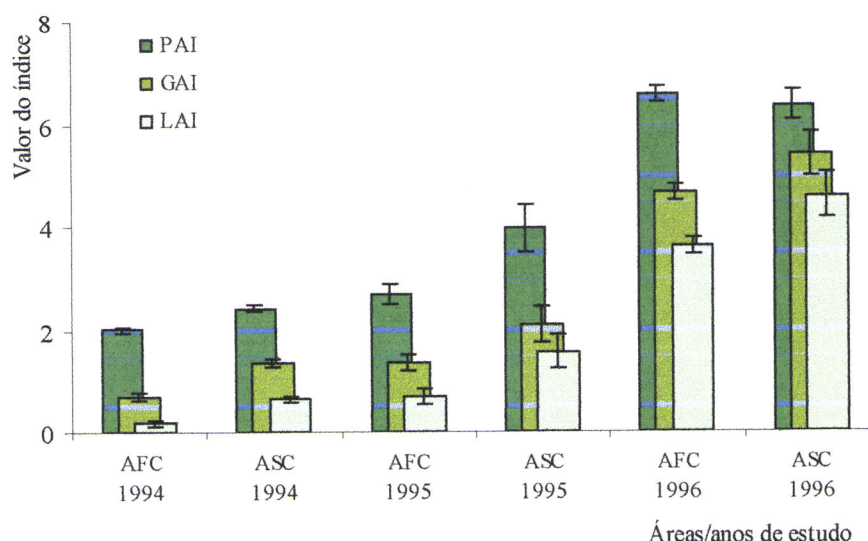


Figura 30. Índices de área (LAI, GAI e PAI) e respectivos erros padrão da fitomassa aérea de herbáceas da AFC e da ASC, para os três anos de estudo, no máximo desenvolvimento da vegetação.

coberto da ASC que para o da AFC. No entanto, dada a grande amplitude de valores obtidos, apenas se confirmaram diferenças significativas entre cobertos para 1994, tendo os índices de área sido significativamente superiores para as herbáceas da ASC em relação às da AFC – LAI (índice de área das folhas), $F_{(1,4)} = 25$, $p < 0,05$; GAI (índice de área das estruturas verdes), $F_{(1,4)} = 43$, $p < 0,01$ e PAI (índice de área de total da planta), $F_{(1,4)} = 21$, $p < 0,05$).

Os índices de área (LAI, GAI e PAI) da fitomassa aérea das herbáceas da AFC apresentaram diferenças entre todos os anos ($F > 180$, $p < 0,001$), com probabilidades altamente significativas; para as herbáceas da ASC as diferenças entre anos não foram tão acentuadas e apenas o ano de 1996 se distinguiu dos outros dois.

Com base na fitomassa aérea dos diversos componentes da vegetação herbácea, e suas respectivas áreas, calcularam-se alguns dos índices mais usados para descrever a estrutura da vegetação (Quadro 21). São evidentes as diferenças entre os descritores da vegetação herbácea da ASC e os que caracterizaram a AFC e entre os valores obtidos para cada ano de estudo (Quadro 21).

O SLA, ou área específica da folha, é indicador da densidade ou espessura foliar, quanto mais elevado o índice, menos espessa será a folha. Neste caso, em que o índice foi aplicado a um coberto, significará em média, para o conjunto das folhas, a área foliar a que corresponde um grama de peso seco de folhas. O SLA foi mais elevado, cerca de uma vez e meia, para as herbáceas da ASC, sendo a diferença entre os dois tipos de coberto mais acentuada em 1995. O valor do índice foi aumentando ao longo dos três anos de estudo nos dois cobertos.

O grau de esclerofilia é uma medida do investimento em peso seco por unidade de folha ($SLW = 1/SLA$) e evidentemente varia na razão inversa do SLA, sendo menor quando aquele for maior e vice-versa. O grau de esclerofilia foi superior nas herbáceas da AFC e nos primeiros anos em relação aos últimos, indicando que as folhas destes locais e datas eram mais espessas que as restantes. No fundo, estes dois índices fornecem o mesmo tipo de informação, mas por vezes só se encontra referência a um deles em estudos similares, aqui optou-se por apresentar os dois valores para permitir futuras comparações.

A área de folhas por volume de copa (FD) apresentou valores três vezes superiores em 1994 para as herbáceas da ASC em relação às da AFC, mais do dobro em 1995 e uma vez e meia superiores em 1996. Assim sendo, as áreas sob copa apresentaram maior área de folhas

fotossinteticamente activas (LAI) por volume de coberto e a diferença entre cobertos diminui ao longo dos anos. O FD aumentou muito o seu valor nas herbáceas da AFC, triplicando de 1994 para 1995 e quase quintuplicando de 1995 para 1996. Nas herbáceas da ASC a diferença de FD entre anos não foi tão acentuada, duplicando de 1994 para 1995 e triplicando de 1995 para 1996.

Quadro 21. Índices descritores, que relacionam os pesos e áreas, da fitomassa aérea de herbáceas da AFC e da ASC, no máximo desenvolvimento da vegetação, para os três anos de estudo (o significado de cada uma das iniciais encontra-se no ponto 3.3.2.1.).

	SLA (dm ² g ⁻¹)	SLW (g m ⁻²)	FD (m ² m ⁻³)	PD (kg m ⁻³)	LAD (dm ² g ⁻¹)	LWR (%)	LWC (g m ⁻²)	PWC (%)
AFC94	0,62	161	6	0,88	0,47	19	37	30
ASC94	0,89	112	19	0,74	0,63	22	46	40
AFC95	1,31	76	20	0,89	0,67	31	63	41
ASC95	2,14	47	46	0,60	0,69	49	103	49
AFC96	1,78	56	89	1,38	0,45	34	167	73
ASC96	2,66	38	134	0,96	0,47	44	175	78

A fitomassa aérea por volume de copa (PD) foi sempre superior nas herbáceas da AFC. Em 1994, a fitomassa aérea das herbáceas da AFC apresentou um valor 20% superior ao das herbáceas da ASC e nos anos seguintes a diferença entre os cobertos foi de cerca de mais 50%, superior para as herbáceas da AFC.

O LAD, razão entre o LAI e o peso fresco correspondente, foi ligeiramente superior para as herbáceas da ASC, em 1994, em que a dissemelhança entre cobertos foi maior, o valor para as herbáceas da ASC excedeu em 30% o das existentes na AFC. Nos anos seguintes, os valores do LAI sobre o peso fresco das folhas (LAD) foram muito próximos, não tendo os valores ultrapassando uma diferença superior a 4%. O LAD apresentou os valores mais

elevados, tanto para as herbáceas da ASC como para as da AFC, em 1995.

A percentagem de folhas por coberto (LWR) foi mais elevada, todos os anos, para as herbáceas da ASC que para as da AFC. Registaram-se em 1994, os valores mais baixos dos três anos, para ambos os cobertos.

O LWC, ou grau de suculência das folhas, foi sempre mais elevado para as herbáceas da ASC em relação às da AFC, em 1994 a diferença entre cobertos foi de 25%, em 1995 de 63% e em 1996 os valores foram muito semelhantes, diferindo apenas 5%. Ao longo dos anos a quantidade de água por área de folha foi aumentando, quadruplicando de 1994 a 1996.

A percentagem de água na fitomassa aérea (PWC) foi sempre superior para as herbáceas da ASC e a diferença entre cobertos decresceu ao longo dos anos, 30% em 1994, 20% em 1995 e 7% em 1996. O PWC duplicou de 1994 para 1996 nos dois cobertos.

As herbáceas da ASC apresentaram valores superiores para índices em que o LAI se relacionava com volumes ou pesos dos componentes da fitomassa aérea e para índices que se referiam à percentagem de água ou à proporção de folhas, do que as herbáceas da AFC. O valor desses índices aumentou ao longo do período de estudo para os dois cobertos, excepto o LAD que baixou de 1995 para 1996.

Sucedeu o inverso para os índices em que os pesos dos componentes da fitomassa aérea se relacionavam, quer com áreas (SLW), quer com volumes (PD), sendo superiores para as herbáceas da AFC, em relação às da ASC.

Os valores do SLA, do FD, do LWR, do LWC e do PWC foram sempre superiores para a ASC, certamente associados à maior disponibilidade hídrica do solo e à menor intensidade da radiação incidente nesta área. Por outro lado, os valores dos índices referidos foram superiores em 1996 em relação a 1994 e 1995, correlacionando-se com a precipitação ocorrida nesses anos. Assim, os valores da precipitação registada entre Dezembro e Março de 1993/94, 1994/95 e 1995/96 foram respectivamente de: 188,1 mm, 169,6 mm e 637,8 mm.

Os valores do SLA, do FD, do PD, do LWC e do PWC aumentaram sucessivamente de 1994 a 1996, parecendo ter sido mais influenciados pela precipitação ocorrida no mês de Dezembro (início do desenvolvimento vegetativo) e no mês de Março (auge do desenvolvimento vegetativo), cujos valores foram respectivamente de: 7,6 mm e 5,1 mm em 1993/94; 47,3 mm e 24,1 mm em 1994/95; 246,5 mm e 50,6 mm em 1995/96.

4.2.1.1.2. Fitomassa Subterrânea

A biomassa subterrânea de herbáceas (Figura 31) registou valores superiores na AFC em relação à ASC, não se verificando diferenças significativas, durante os três anos de estudo, para cada uma das áreas consideradas: ASC e AFC.

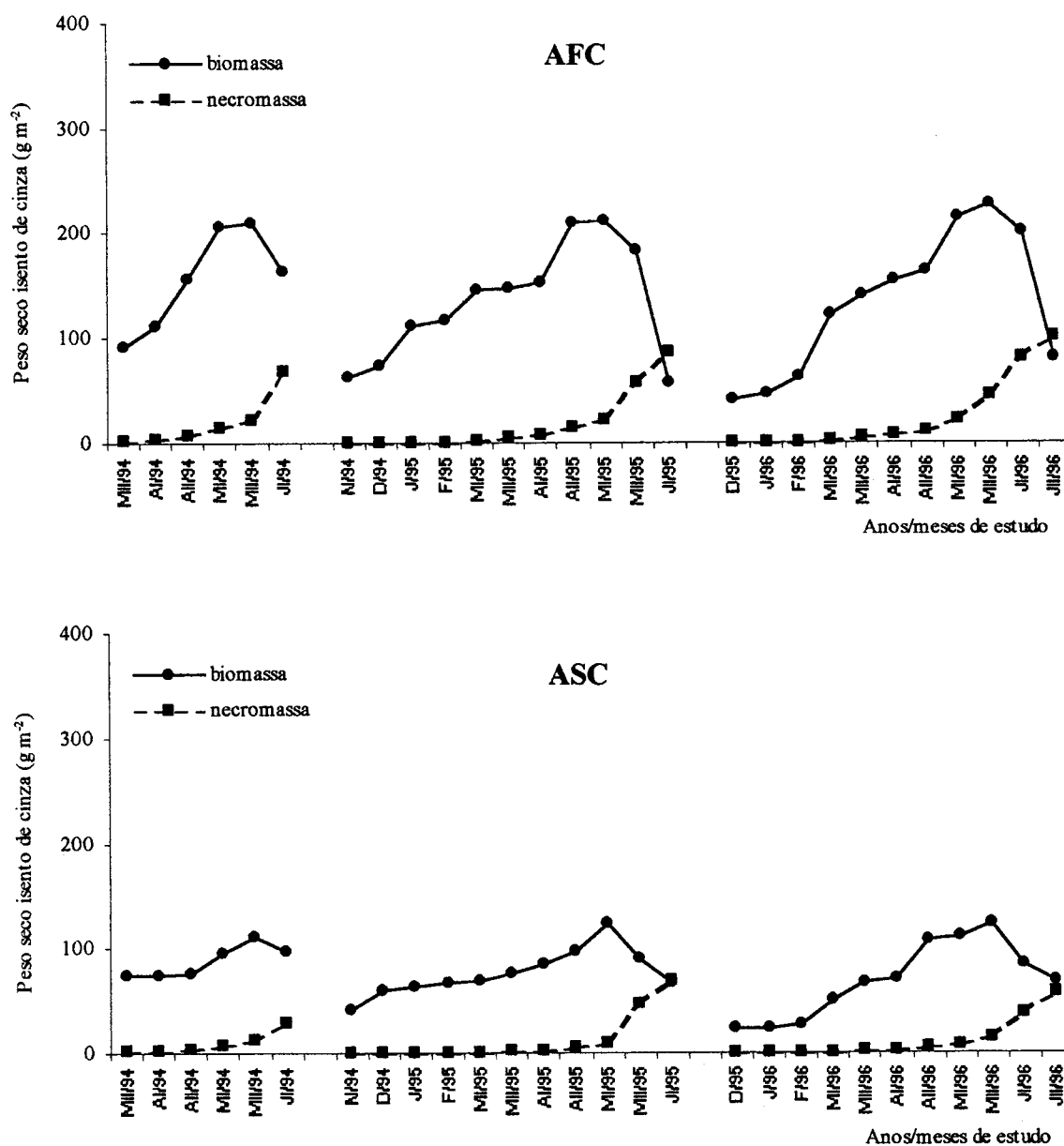


Figura 31. Variação sazonal da biomassa subterrânea e da necromassa de herbáceas (g m⁻²), da AFC e da ASC, nos três anos de estudo.

Ocorreram duas épocas de crescimento mais acentuado, à semelhança da fitomassa aérea, uma entre Novembro e Janeiro (1995) e Fevereiro-Março (1996) e outra entre Abril-Maio (todos os anos), cerca de uma quinzena antes do máximo da fitomassa aérea. Os valores máximos foram atingidos durante o início do mês de Maio (1995 e 1996) e no final desse mês (1994), tanto para as herbáceas da AFC como para as da ASC. Tal como para a biomassa aérea, manteve-se a tendência para um desenvolvimento mais precoce durante o ano de 1995. A fitomassa subterrânea de herbáceas não diferiu nos três anos de estudo, quer para a AFC ($F_{(2,6)} = 2,1$, $p=0,207$) quer para a ASC ($F_{(2,6)} = 0,4$, $p=0,697$), diferindo entre os dois tipos de coberto para os três anos ($F_{(1,16)} = 67,7$, $p<0,001$), sempre superior para a AFC.

Usando a fitomassa aérea e subterrânea de componentes da vegetação herbácea, e suas respectivas áreas, calculou-se o LAR e o RE (Quadro 22).

Quadro 22. Índices descritores da fitomassa aérea e subterrânea de herbáceas, da AFC e da ASC, no máximo desenvolvimento da vegetação, para os três anos de estudo (o significado das iniciais encontra-se no ponto 3.3.2.1).

	LAR	RE
	($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)	(%)
AFC94	3	19
ASC94	12	17
AFC95	10	15
ASC95	34	12
AFC96	31	15
ASC96	71	8

O LAR relaciona o LAI com a fitomassa total (aérea mais subterrânea) e o seu valor foi superior para as herbáceas da ASC, mas a relação variou ao longo dos anos aproximando os dois cobertos; em 1994 o valor obtido para as herbáceas da ASC foi o quádruplo do valor registado para as herbáceas da AFC, em 1995 triplo e em 1996 duplo. O índice de área das

folhas em relação ao peso total foi cada vez mais elevado, e assim o LAR aumentou de 1994 para 1996 para os dois cobertos, tendo sextuplicado para as herbáceas da ASC e decuplicado para as herbáceas da AFC. As variações registadas nos valores do LAR, tanto entre a ASC e a AFC, como entre os anos de estudo, deverão estar relacionadas com a disponibilidade hídrica e a precipitação ocorrida em cada ano (ver página 113).

O esforço reprodutivo nos dois cobertos (RE) foi sempre superior para as herbáceas da AFC. Em 1994 a diferença entre cobertos foi diminuta, mas aumentou ao longo dos anos e em 1996 o valor para as herbáceas da AFC foi duplo do obtido para as da ASC. A percentagem de órgãos reprodutores diminuiu ao longo dos anos, nas herbáceas da AFC, de 1994 para 1995, baixou de 19% para 15% e manteve-se em 1996; nas herbáceas da ASC, de 1994 para 1995, baixou de 17% para 12% e diminuiu novamente em 1996 para 8%.

4.2.1.1.2.1. Estratificação da fitomassa subterrânea e comprimentos radicais

Para caracterizar mais pormenorizadamente a fitomassa radical das herbáceas da ASC e da AFC, nos três anos de estudo, analisaram-se as fracções da fitomassa radical existente na época de máxima produção. Não existiram diferenças significativas entre os valores da fitomassa radical, entre anos de estudo, para cada uma das áreas. Os valores da biomassa radical, no máximo desenvolvimento da vegetação, foram mais elevados nas herbáceas da AFC (Figura 32), todos os anos, representando quase o dobro dos valores das herbáceas da ASC ($F_{(1,16)} = 155,3$, $p < 0,001$). Verificou-se uma situação semelhante para os valores da necromassa, nos dois cobertos (ASC e AFC).

A biomassa radical das herbáceas concentrou-se principalmente nos primeiros 5 cm do solo, chegando representar 90% da biomassa radical total, em ambos os cobertos, nos meses de Novembro e Dezembro. No momento de maior produção de biomassa radical, foi na profundidade de 0-5 cm que se registaram os valores mais elevados (Figura 33). Na profundidade de 10-20 cm obtiveram-se, a maioria das vezes, as menores quantidades de biomassa radical (Figura 33), tendo sido muitas vezes difícil atingir esta profundidade, devido aos afloramentos rochosos existentes e à pouca profundidade dos solos da região.

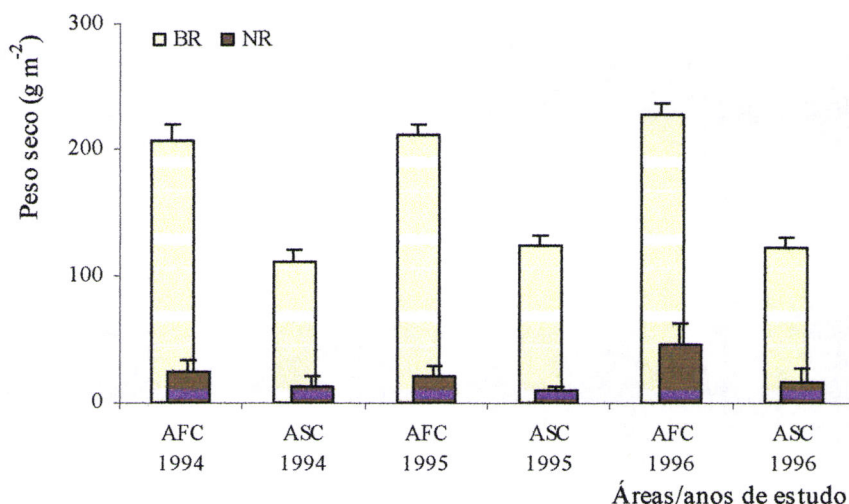


Figura 32. Biomassa radical (BR) e necromassa radical (NR), isentas de cinza, e respectivos erros padrão de herbáceas da AFC e da ASC, para os três anos de estudo, no máximo desenvolvimento da vegetação.

No período de máximo crescimento, as herbáceas da AFC concentraram 71% da sua biomassa radical nos primeiros 5 cm do solo, 16% entre os 5 e 10 cm e 12% entre os 10 e 20 cm; nas herbáceas da ASC a distribuição da biomassa radical nas três profundidades, dos 0 aos 20 cm, foi respectivamente de 74%, 15% e 11%.

A biomassa radical das herbáceas da AFC, colhida na profundidade 0-5 cm, foi significativamente diferente da existente à mesma profundidade nas ASC, ($F_{(1,16)} = 45,3$, $p < 0,001$), não se tendo registado diferenças na biomassa radical existente nas profundidades de 5-10 cm e 10-20 cm. Tal como sucedeu para os valores da produtividade da fitomassa radical de herbáceas, não existiram diferenças significativas entre os valores da biomassa radical, no máximo desenvolvimento da vegetação herbácea, registados para os três anos de estudo.

Os comprimentos das raízes de herbáceas (Figura 34) evidenciaram um padrão semelhante ao descrito para a biomassa radical ($r^2 = 0,969$, $n = 18$, $p < 0,001$), apresentando nos primeiros 5 cm de solo, da AFC, valores significativamente superiores aos da mesma profundidades da ASC. O aumento dos comprimentos radicais das herbáceas registados em 1995, para a profundidade de 0-5 cm, nas duas áreas, não foi acompanhado por um aumento da biomassa radical (Figura 33). No entanto, esta variação não foi significativa, enquadrando-se na variabilidade existente.

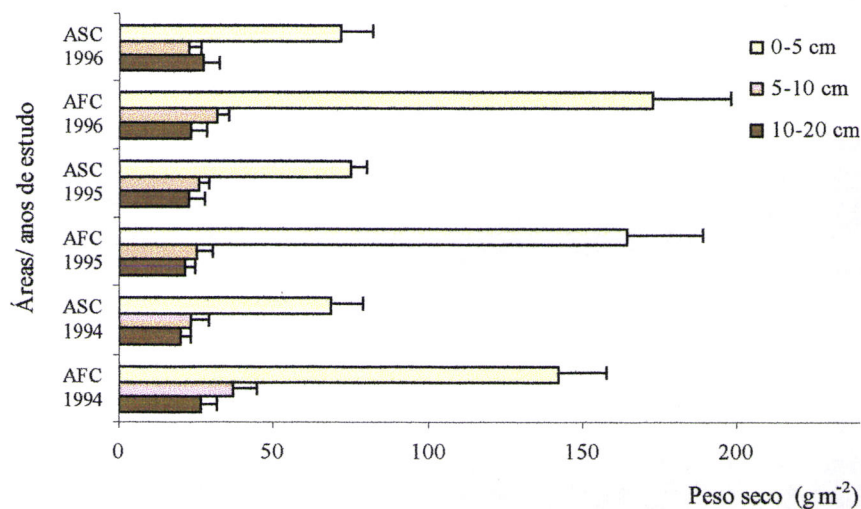


Figura 33. Biomassa radical de herbáceas, isenta de cinza, e respectivos erros padrão para diferentes profundidades na AFC e na ASC, para os três anos de estudo, no máximo desenvolvimento da vegetação.

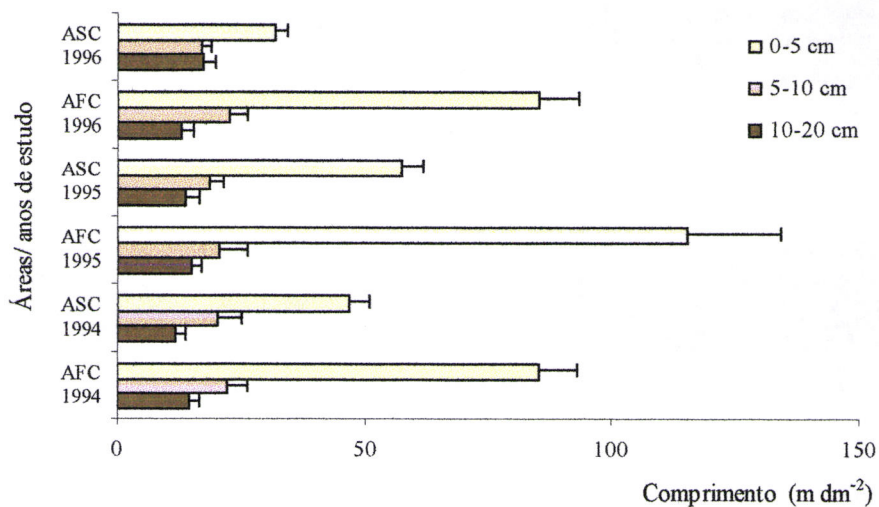


Figura 34. Comprimentos radicais das herbáceas e respectivos erros padrão para diferentes profundidades na AFC e na ASC, para os três anos de estudo, no máximo desenvolvimento da vegetação.

As densidades de enraizamento, nos primeiros 5 cm de solo, foram muito superiores nas herbáceas das AFC em relação às das ASC (Figura 35), em média 19 cm cm⁻³ nas primeiras e 9 cm cm⁻³ nas segundas. Em 1995 registaram-se as densidades radicais mais elevadas, na profundidade de 0-5 cm, para as herbáceas das duas áreas, 23 cm cm⁻³ (AFC) e 12 cm cm⁻³ (ASC).

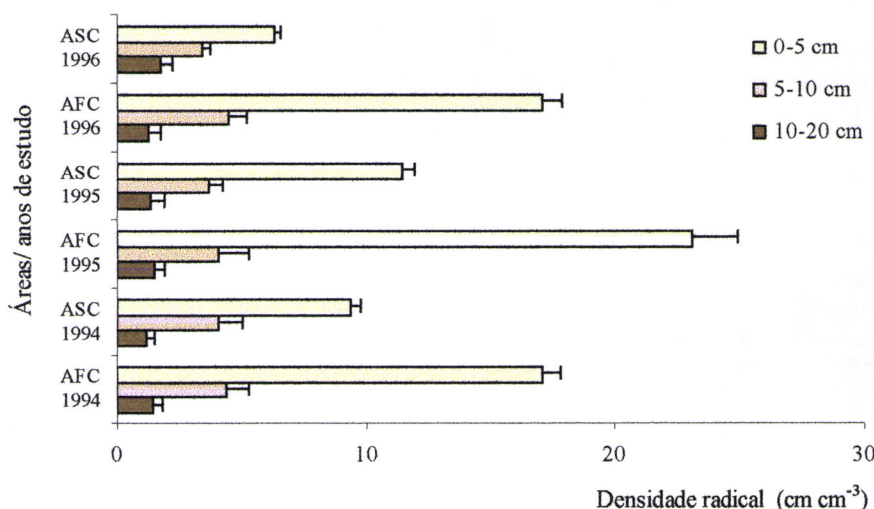


Figura 35. Densidades radicais de herbáceas e respectivos erros padrão para diferentes profundidade na AFC e na ASC, para os três anos de estudo, no máximo desenvolvimento da vegetação.

Nas camadas de solo mais profundas, 5-10 cm e 10-20 cm, as densidades radicais não diferiram nem entre anos nem entre áreas (ASC e AFC), para cada uma das profundidades, sendo em média de 4 cm cm^{-3} para a profundidade de 5-10 cm e de $1,4 \text{ cm cm}^{-3}$ para a profundidade de 10-20 cm.

Os diâmetros das raízes de herbáceas variaram em profundidade (Quadro 23), surgindo que nos primeiros 5 cm do solo, da ASC e da AFC, as raízes apresentaram diâmetros mais elevados do que as existentes nas camadas mais profundas. Estes valores são previsíveis, uma vez de as raízes de maior diâmetro se situam habitualmente mais próximas da superfície.

Não se verificaram diferenças entre a biomassa radical de herbáceas, nos três anos de estudo, para cada área, diferindo significativamente apenas os valores obtidos para as profundidades de 0-5 cm da ASC, 0-5 cm da AFC, e 5-20 cm das duas áreas. Pelo exposto anteriormente, correlacionou-se a biomassa e os comprimentos radicais de herbáceas para as profundidades e áreas significativamente diferentes, obtendo-se as seguintes equações de regressão para AFC (0-5 cm) (Figura 36), AFC (0-5 cm) (Figura 37) e AFC+ASC (5-20 cm) (Figura 38).

Quadro 23. Diâmetros médios das raízes de herbáceas (mm) e respectivos desvios padrão para diferentes profundidades na AFC e na ASC, nos três anos de estudo.

Profundidade (cm)	Diâmetro radical	
	AFC (mm)	ASC (mm)
0-5	0,42 ± 0,56	0,38 ± 0,41
5-10	0,37 ± 0,07	0,36 ± 0,04
10-20	0,35 ± 0,03	0,35 ± 0,02

Das equações obtidas, verificou-se que a relação entre os comprimentos e biomassa radicais foi superior para as maiores profundidades, em que um grama de biomassa radical de herbáceas correspondeu a cerca de 78 m de raízes. Para as profundidades de 0-5 cm, a razão comprimento/biomassa foi mais baixa na AFC que na ASC. As diferentes equações devem-se em parte aos diferentes diâmetros (Quadro 23) apresentados pelas raízes nas várias profundidades. Ou seja, quanto mais espessas as raízes, menor será a relação comprimento/peso.

4.2.1.1.3. Razão fitomassa aérea / fitomassa subterrânea

As produções totais de herbáceas, fitomassa aérea mais subterrânea, registadas nos dois tipos de coberto (ASC e AFC) diferiram entre si para todos os anos (1994 - $F_{(1,4)} = 19,6$, $p < 0,011$; 1995 - $F_{(1,4)} = 83,6$, $p = 0,001$ e 1996 - $F_{(1,4)} = 47,8$, $p < 0,002$), sendo sempre a produtividade da AFC mais elevada do que a da ASC.

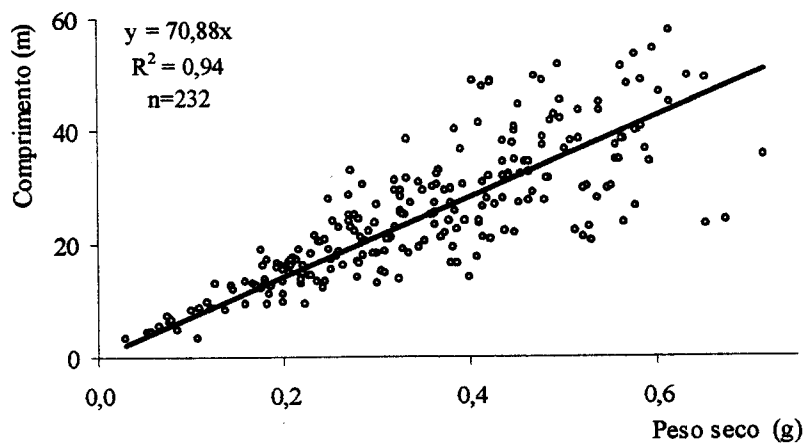


Figura 36. Relação entre o comprimento e a biomassa radicais de herbáceas, para a profundidade de 0-5 cm da AFC, para os três anos de estudo.

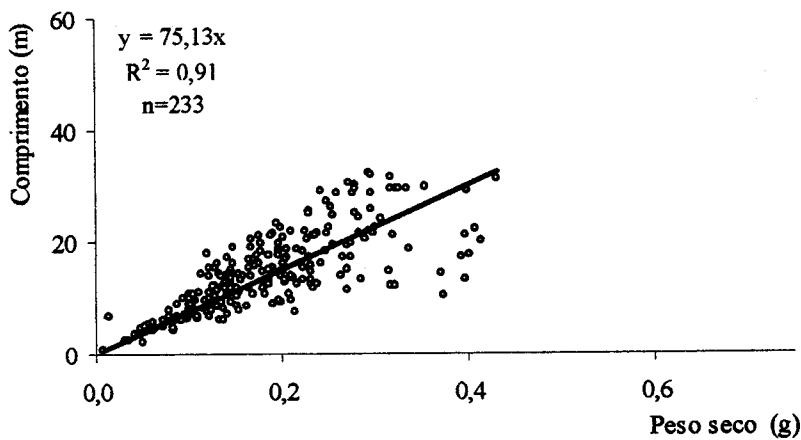


Figura 37. Relação entre o comprimento e a biomassa radicais de herbáceas, para a profundidade de 0-5 cm da ASC, para os três anos de estudo.

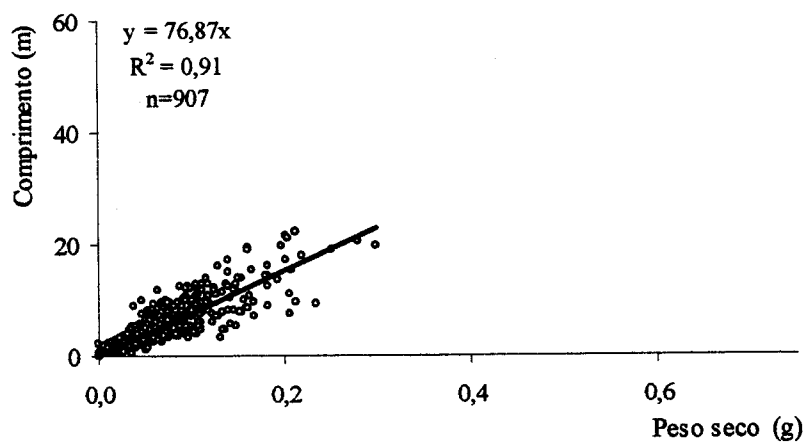


Figura 38. Relação entre o comprimento e a biomassa radicais de herbáceas, para a profundidade 5-20 cm das ASC e AFC, para os três anos de estudo.

A produção de fitomassa aérea (FA) foi sempre superior à de fitomassa subterrânea (FS) (Quadro 24). Em cada área, o ano de 1996 registou uma produção de herbáceas superior às dos outros dois anos. As diferenças observadas na produção total de fitomassa, ao longo dos anos de estudo, foram devidas às diferentes produtividades da fitomassa aérea, uma vez que a fitomassa radical produzida não variou significativamente ao longo dos anos de estudo, em cada área.

Quadro 24. Valores da produtividade da fitomassa aérea (FA), subterrânea (FS) e total (FT) de herbáceas, em g m⁻², e respectivos erros padrão e valores da razão entre a fitomassa aérea e subterrânea (FS/FA), na AFC e na ASC, para os três anos de estudo.

	FA		FS		FT		FA/FS	
	AFC	ASC	AFC	ASC	AFC	ASC	AFC	ASC
1994	591±36	436±22	231±19	125±10	822±50	561±31	2,56	3,45
1995	610±33	398±13	243±22	136±10	853±33	534±12	2,50	2,94
1996	991±68	547±33	281±9	144±22	1271±63	691±55	3,57	3,85

As razões entre a fitomassa aérea e subterrânea foram superiores nas ASC, em relação às AFC (Quadro 24), tendo variado anualmente no mesmo sentido. Esta razão foi mais elevada em 1996 e mais baixa em 1995, para ambos os cobertos.

Existiram fortes correlações, ($r^2 > 0,95$, $p < 0,001$) entre o padrão de desenvolvimento da fitomassa aérea e subterrânea das herbáceas, em cada um dos três anos de estudo (Figuras 26 e 31), tanto na AFC como na ASC. Verificaram-se correlações igualmente fortes entre o desenvolvimento da vegetação herbácea nos dois tipos de coberto, em cada ano de estudo.

A razão entre fitomassa aérea e subterrânea das herbáceas variou ao longo de cada ano de estudo e entre anos. Evidenciou-se uma maior importância da fitomassa aérea nas fases mais avançadas do desenvolvimento das herbáceas (Figura 39), tendo os valores de Dezembro representado cerca de 40% dos valores de Maio e Junho. Os valores da razão oscilaram desde

o início do desenvolvimento da vegetação herbácea (Novembro ou Dezembro), com tendência para irem aumentando ao longo dos meses, sofrendo algumas quebras nos momentos de máximo crescimento da fitomassa subterrânea.

Dado que os meses amostrados não foram os mesmos em cada ano, o valor médio da razão entre a fitomassa aérea e a fitomassa subterrânea das herbáceas foi calculado de MarçoII a JunhoI, que foram as épocas de amostragem comuns. Para a AFC os valores médios e respectivos desvios, em 1994, 1995 e 1996 foram: $2,1 \pm 0,3$; $2,1 \pm 0,4$ e $2,8 \pm 0,5$ e para a ASC, $3,4 \pm 0,4$; $2,3 \pm 0,2$ e $3,4 \pm 0,7$.

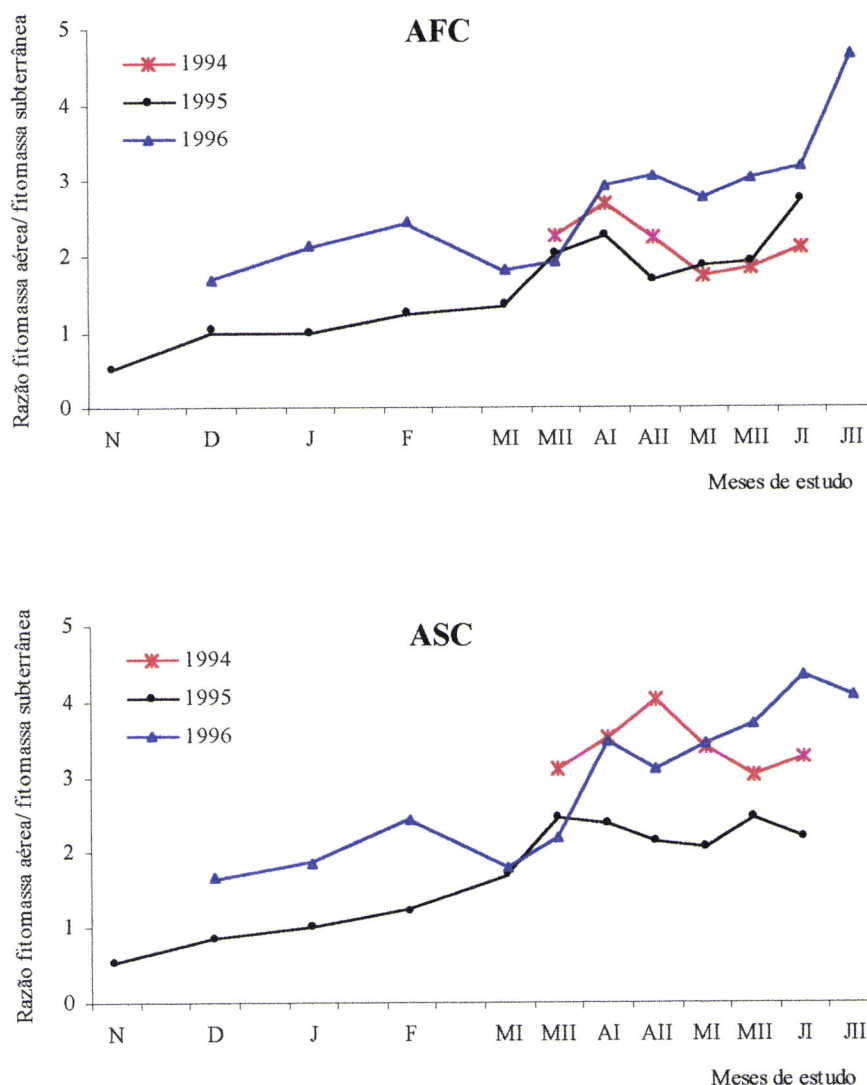


Figura 39. Razão entre a fitomassa aérea e a fitomassa subterrânea de herbáceas, da AFC e da ASC, ao longo dos meses nos três anos de estudo.

4.2.1.2. ESTRUTURA VERTICAL DOS COBERTOS

4.2.1.2.1. Estrutura vertical da fitomassa

As amostragens estratificadas da fitomassa aérea das herbáceas, efectuadas no momento de máximo crescimento, nos dois cobertos, ao longo dos três anos de estudo, estão representadas por gráficos da estrutura vertical da fitomassa e dos respectivos índices de área acumulados (Figuras 40 a 42). Os resultados dessas amostragens serão apresentados focando a distribuição vertical da fitomassa, biomassa e necromassa, seus componentes e os índices de área dessas estruturas.

Pela análise dos gráficos, são facilmente detectáveis diferenças nas estruturas verticais: 1) maior quantidade de folhada de sobreiro e menor de manta morta de herbáceas nas ASC em relação às AFC; 2) percentagem relativa de biomassa superior para as ASC; 3) predomínio das estruturas reprodutoras nas AFC. As percentagens de cobertura do solo, no máximo de produção da fitomassa das herbáceas, também foram muito diferentes, enquanto nas ASC a vegetação herbácea apresentou coberturas de 65% a 70%, encontrando-se a restante área coberta, apenas, por folhada de sobreiro, nas AFC a cobertura foi total, de 98% a 100%. A distribuição vertical da fitomassa das herbáceas nas ASC assemelha-se mais uma pirâmide quadrangular, diminuindo da base para o topo e nas AFC afigura-se uma forma poliédrica, aumentando a fitomassa do solo até aos 15 ou 20 cm de altura para depois decrescer até ao topo.

Em 1994, as herbáceas da AFC apresentaram uma produção média de 449 g m^{-2} (Figura 40-AFC). Os componentes fotossinteticamente activos, constituídos maioritariamente por caules (80%), representaram cerca de 38% da fitomassa total. Os órgãos reprodutores assumiram um papel importante na composição deste coberto, representando um terço da fitomassa total. Esta distribuiu-se irregularmente ($G^* = 0,32$), tendo sido mais elevada nos estratos 0-5 cm e 25-30 cm. A fitomassa concentrou-se dos 0 aos 35 cm, contendo os outros quatro estratos apenas 10% da fitomassa total. A biomassa foi mais abundante (60%) entre os 15 e os 30 cm, enquanto que a necromassa predominou (70%) nos três estratos mais próximos do solo.

* -Índice de Gini (ponto 3.3.2.1.)

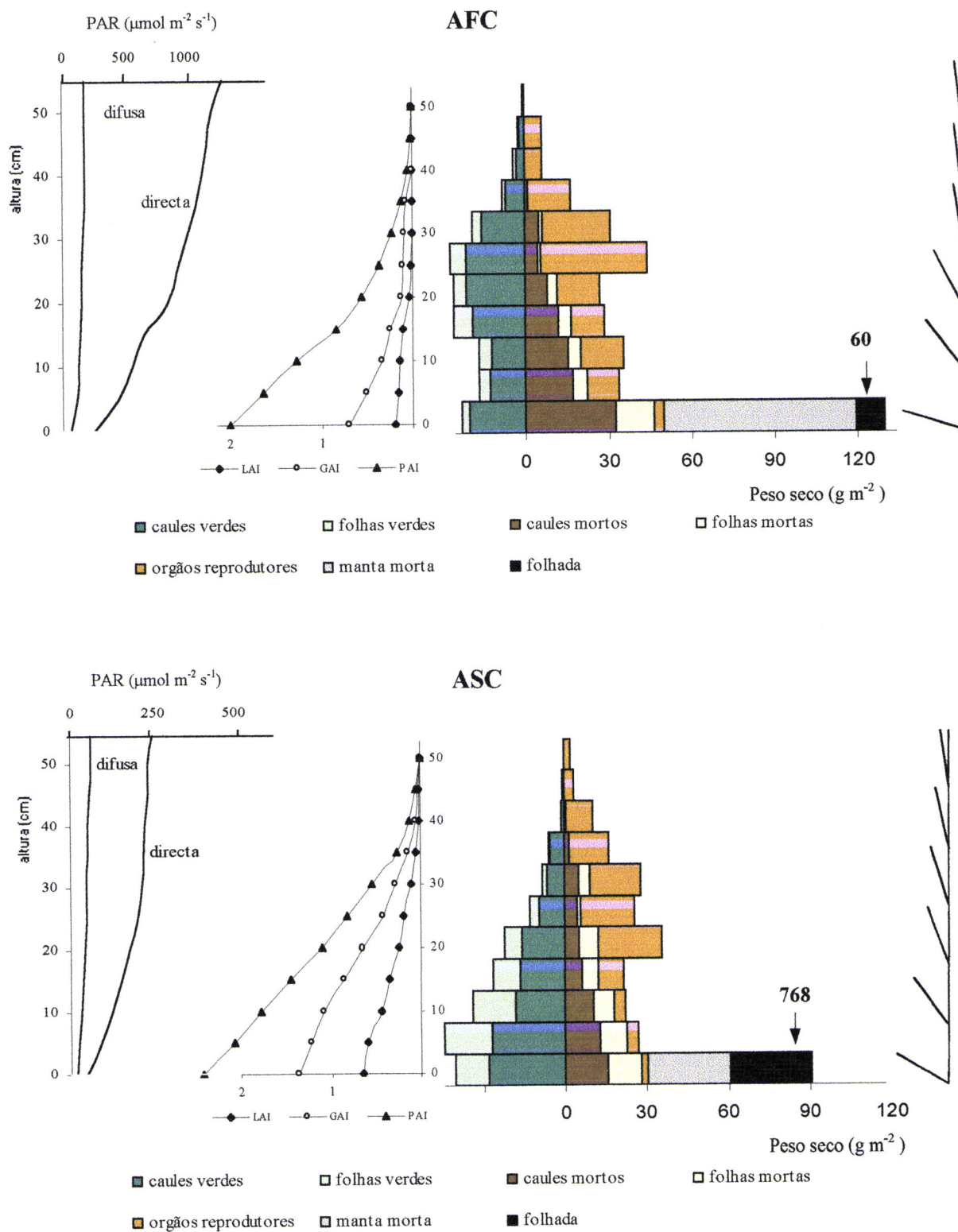


Figura 40. Estrutura vertical dos cobertos de herbáceas da AFC e da ASC, no máximo desenvolvimento da vegetação, em 1994. Da esquerda para a direita: curvas de extinção da PAR, directa e difusa; índices de área acumulados, LAI, GAI e PAI; distribuição vertical dos componentes da fitomassa aérea das herbáceas; e ângulos foliares médios por estrato.

As estruturas reprodutoras apresentaram o seu valor mais elevado (26%) nos estratos superiores (25-35 cm). Dos 0 cm aos 30 cm a percentagem de área acumulada de folhas verdes foi apenas 2,5%, a área de estruturas verdes 13,5% e a área total de 11%. Entre os 15 e os 55 cm, o valor do LAI foi de 58%, o GAI 36% e o PAI 42%, dos seus valores totais. O valor da área das folhas fotossinteticamente activas sofreu um acréscimo considerável dos 15 aos 20 cm, estrato que continha a maior proporção de peso seco de folhas verdes (20%). As áreas totais (PAI) tiveram um padrão de distribuição mais heterogéneo que o peso seco, apresentando um $G=0,46$.

As Dicotiledóneas representaram 75% e as Monocotiledóneas 25% da fitomassa total.

O coberto de herbáceas da ASC em 1994 (Figura 40-ASC) apresentou uma estrutura vertical diferente da anteriormente descrita, e uma produção de 421 g m^{-2} . As estruturas verdes estiveram mais representadas (47% do total) do que na AFC/94, em especial as folhas (34%). A fitomassa distribuiu-se irregularmente ($G=0,36$), dos 35 cm ao topo registou-se apenas 10% do peso seco total, concentrando-se a fitomassa entre os 0 e os 35 cm, diminuindo nos estratos mais elevados em relação aos mais próximos do solo, excepto no estrato de 20-25 cm. Os valores da biomassa aumentaram desde os 5 cm – estrato em que a biomassa apresentou o valor máximo (23%) – até aos 55 cm e decresceram um pouco no estrato junto ao solo. As estruturas reprodutoras foram mais abundantes entre os 20 e os 40 cm (68% do peso total de órgãos reprodutores).

A distribuição das áreas totais foi menos irregular ($G=0,3$) que a distribuição da fitomassa. Os incrementos de LAI foram quase regulares dos 0 aos 25 cm. O LAI do coberto da ASC/94 foi três vezes e meia superior ao do coberto anterior (AFC/94) e no entanto, o peso seco das folhas foi apenas o dobro, indiciando uma maior expansão foliar.

As Dicotiledóneas representaram 40% da fitomassa total.

A produção em 1995 foi de 477 g m^{-2} para a AFC (Figura 41-AFC), um pouco superior à do ano transacto para o mesmo coberto. A biomassa total representou uma fracção semelhante à de AFC/94 (38%), mas o valor em folhas verdes (36%) foi muito superior. A proporção total de folhas na AFC/95 (34% do total) foi mais do dobro da registada para a AFC/94 (15%). A distribuição da fitomassa foi semelhante à do ano anterior ($G=0,36$), concentrando-se nos estratos mais próximos do solo, 73% da fitomassa total de 0-25 cm e

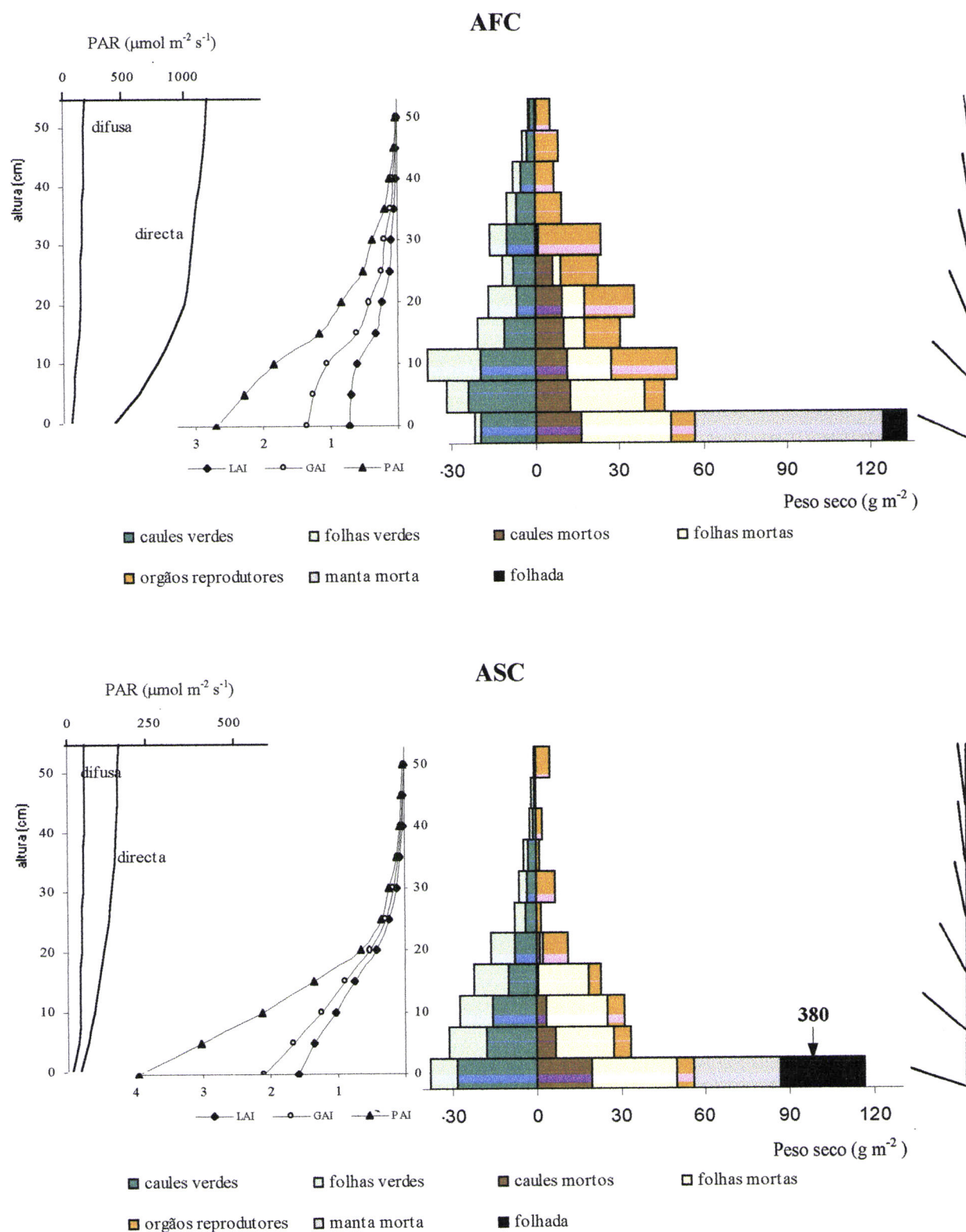


Figura 41. Estrutura vertical dos cobertos de herbáceas da AFC e da ASC, no máximo desenvolvimento da vegetação, em 1995. Da esquerda para a direita: curvas de extinção da PAR, directa e difusa; índices de área acumulados, LAI, GAI e PAI; distribuição vertical dos componentes da fitomassa aérea das herbáceas; e ângulos foliares médios por estrato.

52% de 0-15 cm. A biomassa apresentou o seu valor máximo no estrato de 10-15 cm (23% da matéria verde total), concentrando-se nos estratos inferiores (72% de 0-25 cm). A necromassa distribuiu-se mais heterogeneamente, 2% dos 25-55 cm e 50% entre os 0-15 cm. As estruturas reprodutoras estiveram presentes em quase todos os estratos, tendo sido mais abundantes entre os 30-35 cm (16% do peso total de órgãos reprodutores) e os 10-15 cm (17%).

O LAI distribuiu-se heterogeneamente, dos 30 aos 55 cm registaram-se apenas 12% do LAI total e dos 15 aos 55 cm, quase metade do valor do LAI total do coberto (46%). A distribuição da área total foi semelhante, mas mais irregular ($G=0,45$), que a da fitomassa, concentrando-se 57% do PAI entre os 0-15 cm, representando um só estrato (10-15 cm) 25% da área total.

As Dicotiledóneas representaram 80% da fitomassa total, um valor idêntico ao do ano anterior para o coberto fora da influência das copas.

A fitomassa total da ASC em 1995 (Figura 41-ASC), foi de 329 g m^{-2} , dos quais 155 g m^{-2} foram matéria verde, 125 g m^{-2} necromassa e 49 g m^{-2} estruturas reprodutoras. As folhas foram o componente com maior representatividade neste coberto, constituindo 48% da fitomassa total, um valor muito superior ao obtido para os cobertos anteriormente descritos. As folhas verdes representaram 42% da biomassa total e as folhas mortas 74% da necromassa total. A distribuição da fitomassa foi bastante irregular ($G=0,53$), mais que nos cortes anteriores. Dos 25 aos 55 cm registou-se apenas 12% da fitomassa total, variando entre 0,4% a 4% o valor por estrato. A fitomassa diminuiu progressivamente dos 0 aos 25 cm, registando valores de 29% (0-5 cm) a 8% (20-25 cm). A biomassa decresceu da base até ao topo, registando dos 25 aos 55 cm 14% da biomassa total. O estrato de 0-5 cm foi o que apresentou maior proporção de biomassa (23%). A necromassa foi praticamente inexistente acima dos 25 cm (1%), concentrando-se dos 0-25 cm (99%), registando o estrato mais próximo do solo 47% da necromassa total. As estruturas reprodutoras foram mais abundantes nos estratos 30-35 cm (14% do total) e 20-25 cm (17%).

O peso seco das folhas verdes, em 1995, foi idêntico na AFC e ASC, no entanto o LAI foi o dobro na área sob copa em relação à primeira. A distribuição das áreas totais foi bastante irregular ($G=0,54$), dos 55 aos 25 cm registou-se 9% da área total, variando por estrato de 0,4% a 3,1%, os restantes 91% do PAI concentraram-se dos 0 aos 25 cm.

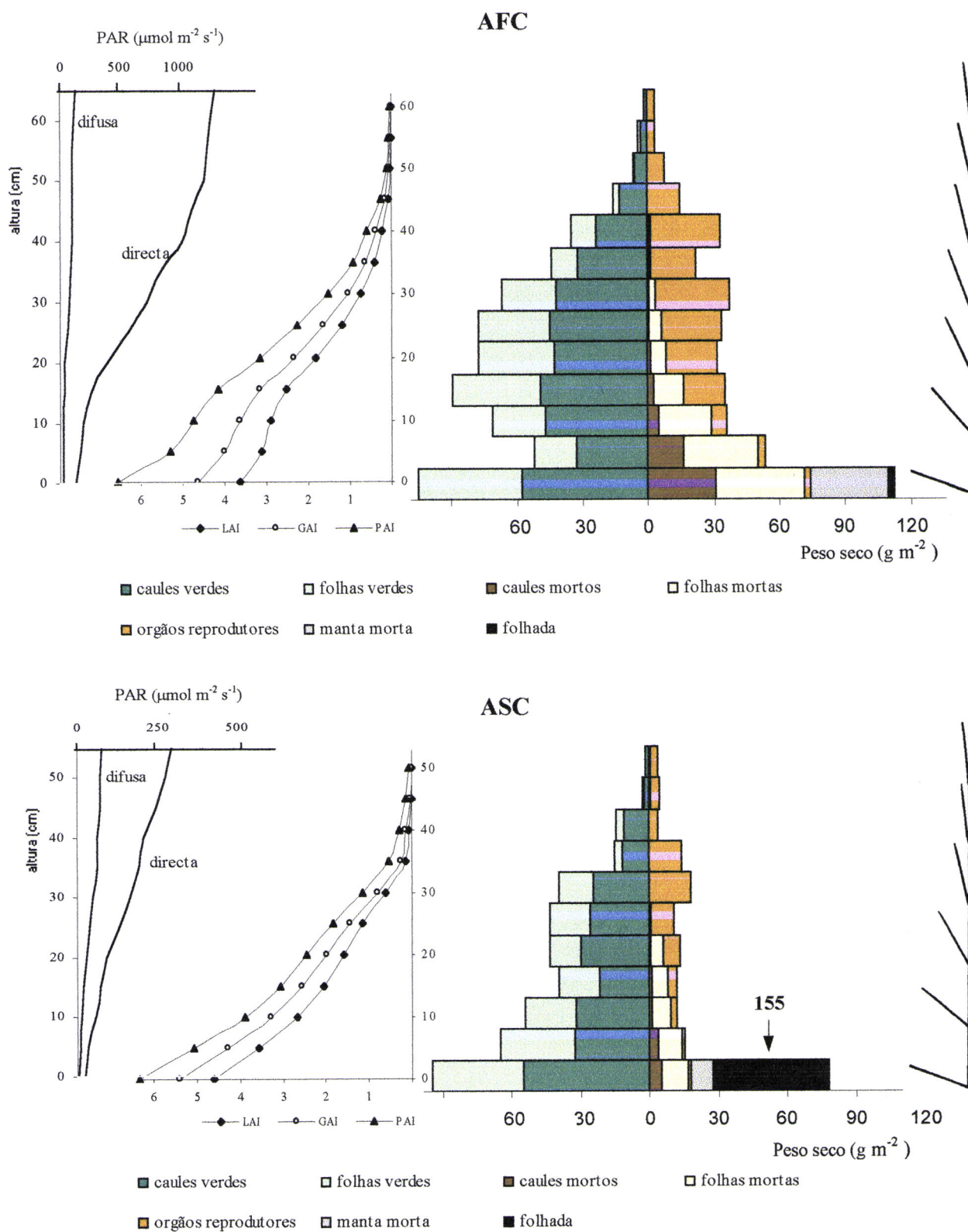


Figura 42. Estrutura vertical dos cobertos de herbáceas da AFC e da ASC, no máximo desenvolvimento da vegetação, em 1996. Da esquerda para a direita: curvas de extinção da PAR, directa e difusa; índices de área acumulados, LAI, GAI e PAI; distribuição vertical dos componentes da fitomassa aérea das herbáceas; e ângulos foliares médios por estrato.

As Dicotiledóneas representaram 38% da fitomassa total, um valor da mesma ordem de grandeza do obtido para a ASC/94.

Em 1996 a fitomassa da AFC (Figura 42-AFC) atingiu os 65 cm de altura e produção foi muito superior à dos outros anos, 1034 g m^{-2} , dos quais 63% foram componentes fotossinteticamente activos, 18% necromassa - o valor mais baixo de todos os cortes até aqui descritos - e 19% estruturas reprodutoras. A fitomassa não teve uma distribuição uniforme ($G=0,35$), registando-se 5,6% do seu valor total entre 45-65 cm, distribuindo-se quase equitativamente entre os 5 e os 35 cm e predominando no estrato 0-5 cm (17%). A biomassa foi constituída por 39% de folhas, das quais 2% ocorreram dos 45 aos 65 cm, 43% entre os 15-30 cm e 19% no estrato 0-5 cm. A necromassa apresentou uma proporção de folhas elevada (70%) e concentrou-se nos estratos mais próximos do solo 0-15 cm (84% da necromassa total). As estruturas reprodutoras predominaram dos 30-35 cm e dos 40-45 cm, com 16% do total em cada estrato. As áreas totais distribuíram-se de modo irregular ($G=0,42$), apresentando dos 40 cm até ao topo, 9% da área total acumulada, dos 5 aos 40 cm as áreas variaram de 8,4% a 15,3% e no estrato de 0-5 cm o PAI apresentou o valor mais elevado (19%).

As Dicotiledóneas representaram 86% da fitomassa total, o valor mais elevado para as áreas de coberto herbáceo fora da influência das copas.

A fitomassa total da ASC (Figura 42-ASC) em 1996 (537 g m^{-2}) foi muito inferior à da AFC no mesmo ano, mas superior às dos anos anteriores para as ASC. A percentagem de matéria verde (76%) foi superior à do corte da AFC/96, a necromassa representou 10% do valor da fitomassa total e as estruturas reprodutoras 14%. A irregularidade da distribuição da fitomassa ($G=0,35$) foi muito idêntica à da AFC/96, os estratos mais elevados apresentaram uma percentagem muito baixa de fitomassa (11% de 35-55 cm), os estratos intermédios registaram pesos similares entre si (5-35 cm o valor da fitomassa variou entre 14% e 10%) e o estrato de 0-5 cm apresentou o valor máximo de fitomassa (21%). A biomassa integrou 40% de folhas e distribuiu-se em escada diminuindo do solo para o topo, concentrando-se (53%) dos 0-15 cm. A necromassa foi praticamente constituída por folhas (75%) e só ocorreu entre os 0-25 cm. As estruturas reprodutoras concentraram-se dos 25 aos 40 cm, onde somaram

60% do peso seco total destas estruturas.

Apesar do peso seco de folhas verdes ter sido inferior (aproximadamente dois terços) do da AFC/96, o valor do LAI foi muito superior, 4,6 contra os 3,6 da AFC/96. O PAI distribuiu-se mais uniformemente ($G=0,38$) do que na AFC/96, e apresentou 8% do seu valor total dos 35 cm ao topo. Os estratos dos 15 aos 35 cm apresentaram valores semelhantes de PAI (entre 9% e 11%), e dos 0-15 cm, registaram-se 52% do PAI total.

As Dicotiledóneas representaram 84% da fitomassa total, o valor mais elevado para as áreas de coberto herbáceo sob a influência das copas.

4.2.1.2.2. Ângulos foliares

A posição das folhas no interior dos cobertos da AFC e da ASC foi muito idêntica entre si e ao longo dos anos de estudo (Figuras 44 a 46). Em todos os casos predominaram as folhas com posições horizontais nas camadas inferiores e à medida que se atingiram os estratos mais elevados do coberto, as folhas tenderam para uma maior verticalidade, encontrando-se praticamente todas na posição vertical no último estrato. O ângulo médio de cada estrato foi sempre superior ao do estrato anterior (Quadro 25).

Tendo em consideração a frequência dos ângulos em cada estrato é possível caracterizar a estrutura do coberto (De Wit, 1965); no presente estudo os cobertos das ASC e AFC, em 1994, 1995 e 1996, apresentaram uma distribuição de ângulos foliares semelhante entre si, classificando-se como cobertos intermédios entre a distribuição planófila e a distribuição erectófila (Figura 43).

De um modo geral, a distribuição dos ângulos no interior dos cobertos foi fortemente influenciada pelas espécies mais representadas - serradelas (*Ornithopus spp.*) e gramíneas (diversas espécies) - cuja disposição das folhas foi mais horizontal nos estratos inferiores e mais vertical nos estratos superiores (Figuras 44 a 46). Apenas o último estrato apresentou, quase exclusivamente, duas classes de ângulos, as mais verticais. Os ângulos médios dos

cobertos (Quadro 25) foram fortemente influenciados pela área das folhas dos estratos mais baixos, que apresentaram folhas com disposições mais próximas da horizontal.

Este tipo de disposição foliar permite que a radiação incidente não seja completamente interceptada nos estratos superiores – devido à verticalidade das folhas – e atinja os estratos mais baixos do coberto, ainda que apenas em percentagem reduzida, posicionando-se as folhas horizontalmente para absorverem o máximo de radiação possível.

Os ângulos médios dos cobertos das AFC aumentaram de 1994 a 1996, tal como a biomassa foliar e o LAI desses cobertos. A maior quantidade de área foliar poderá ter levado a que as folhas se posicionassem mais verticalmente, permitindo que a radiação atingisse os estratos mais próximos do solo. Este fenómeno não se verificou nos cobertos das ASC, apesar do aumento do LAI de 1994 para 1996, verificando-se mesmo o fenómeno contrário, valores de ângulos médios cada vez mais baixos. Por um lado, a baixa densidade da vegetação destas áreas (coberturas de 65 a 70%) e o facto da radiação que atingia os cobertos ser em grande medida difusa, não provocaram um aumento dos ângulos médios por coberto; por outro, a

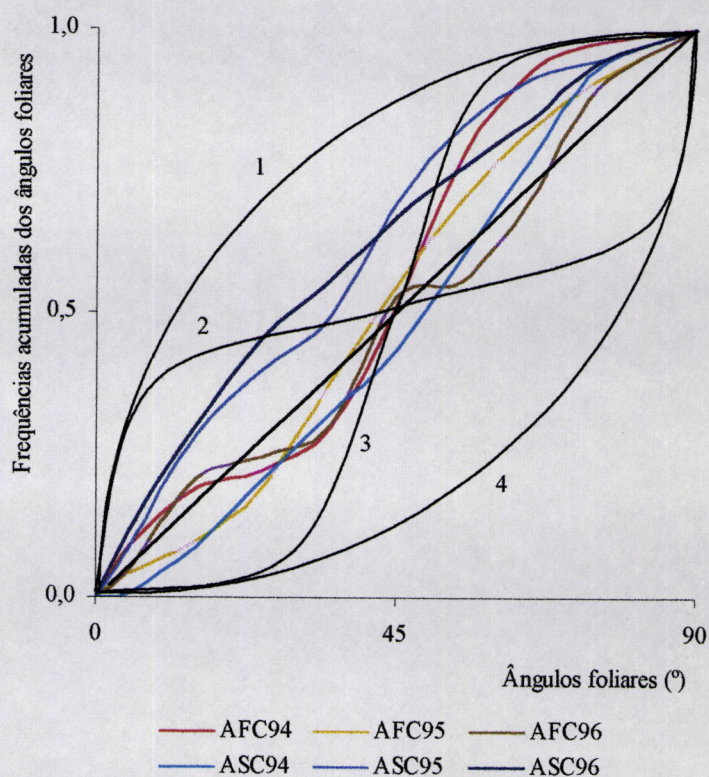


Figura 43. Frequências acumuladas dos ângulos foliares. Para caracterizar a estrutura dos cobertos, representa-se a frequência acumulada (da base para o topo) dos ângulos foliares, ponderada com a área foliar, contra o ângulo médio de cada classe. Tipos de coberto: 1 – planófilo, 2 – extremófilo, 3 – plagiófilo e 4 – erectófilo.

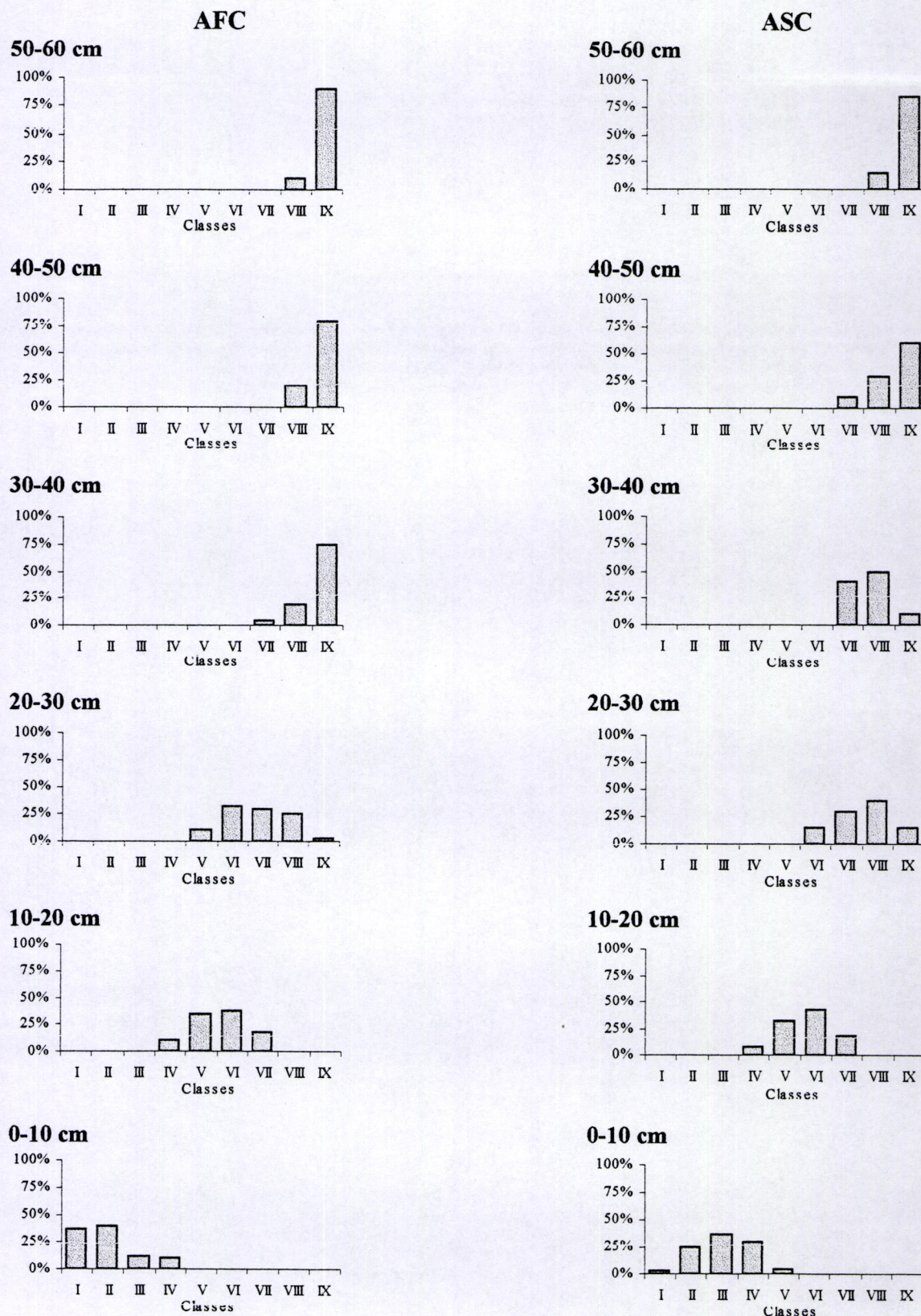


Figura 44. Proporção das classes de ângulos foliares (I – 0-9°, II – 10-19°, III – 20-29°, IV – 30-39°, V – 40-49°, VI – 50-59°, VII – 60-69°, VIII – 70-79°, IX – 80-89°) presentes em cada estrato da vegetação herbácea, no seu máximo desenvolvimento, na AFC e na ASC em 1994.

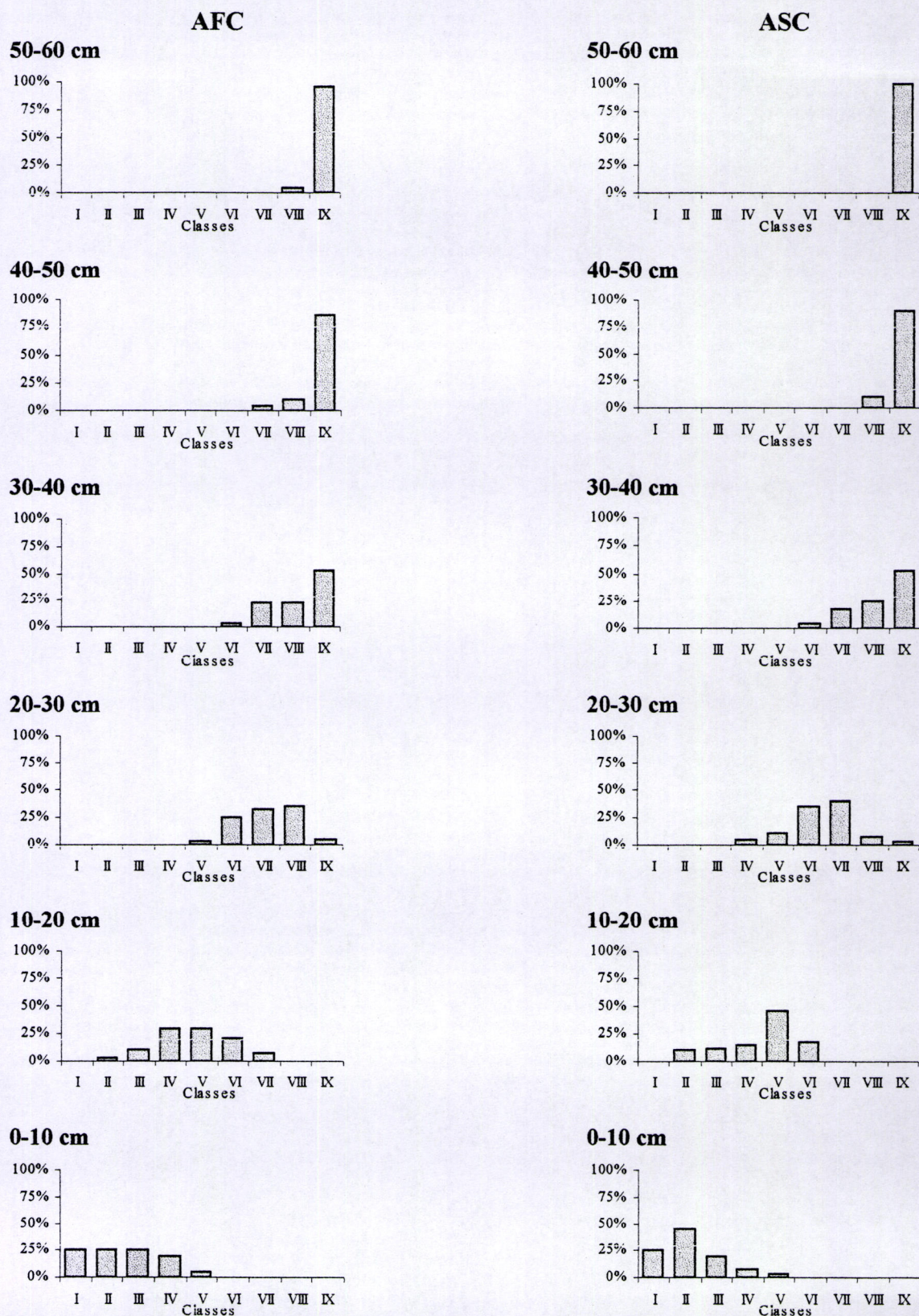


Figura 45. Proporção das classes de ângulos foliares (I – 0-9°, II – 10-19°, III – 20-29°, IV – 30-39°, V – 40-49°, VI – 50-59°, VII – 60-69°, VIII – 70-79°, IX – 80-89°) presentes em cada estrato da vegetação herbácea, no seu máximo desenvolvimento, na AFC e na ASC em 1995.

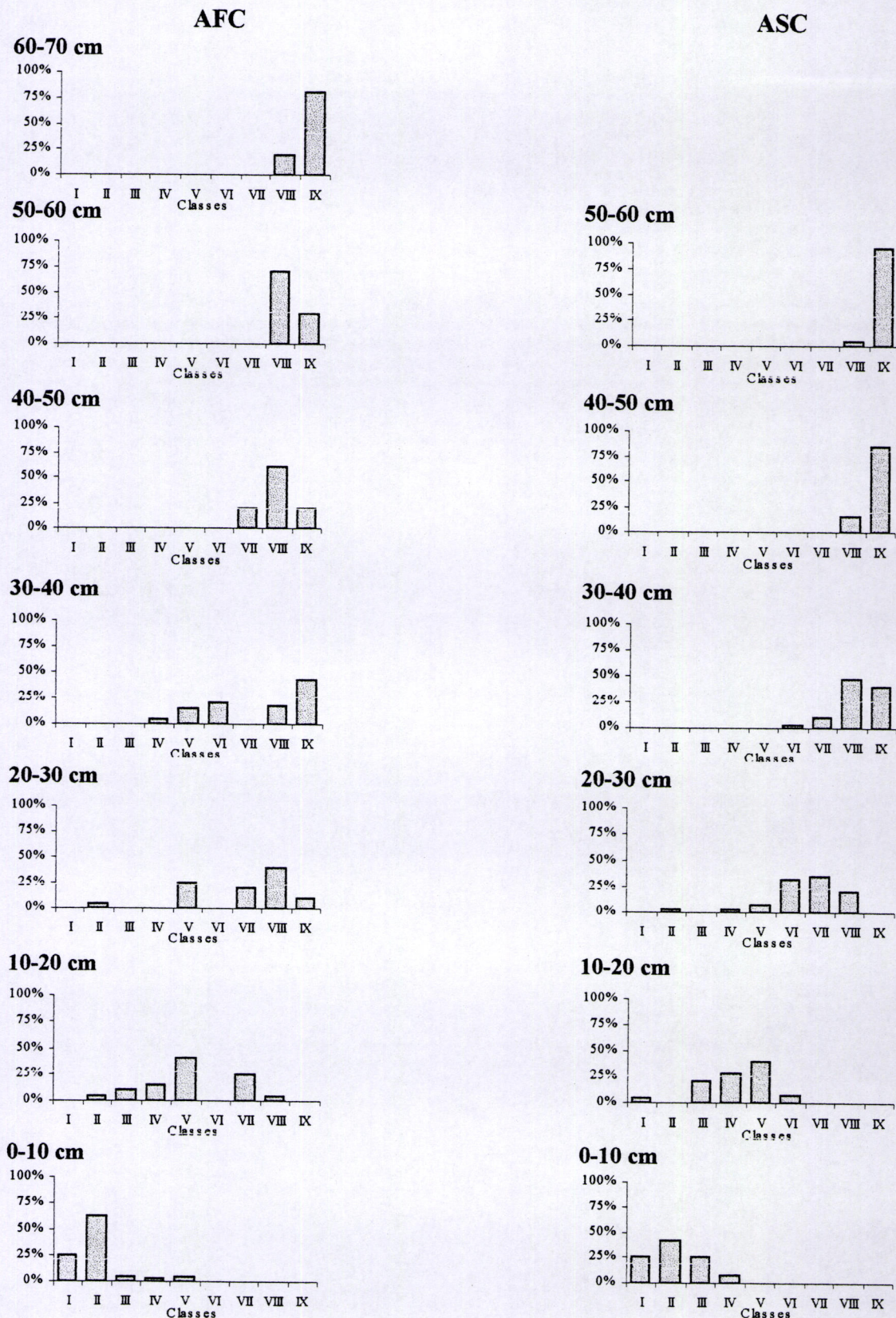


Figura 46. Proporção das classes de ângulos foliares (I – 0-9°, II – 10-19°, III – 20-29°, IV – 30-39°, V – 40-49°, VI – 50-59°, VII – 60-69°, VIII – 70-79°, IX – 80-89°) presentes em cada estrato da vegetação herbácea, no seu máximo desenvolvimento, na AFC e na ASC em 1996.

diminuição da percentagem de Monocotiledóneas, de 1994 para 1996 nas ASC, poderá ter ocasionado a descida do valor do ângulo médio, uma vez que as Monocotiledóneas apresentam geralmente ângulos foliares mais verticais que as Dicotiledóneas.

Quadro 25. Valores dos ângulos foliares médios (em graus) das folhas de herbáceas, por estrato, para a AFC e a ASC, nos três anos de estudo, e valor do ângulo médio por coberto.

Altura (cm)	Ângulos foliares (°)					
	1994		1995		1996	
	AFC	ASC	AFC	ASC	AFC	ASC
0-10	14,0	25,5	20,0	16,3	14,5	16,0
10-20	50,8	51,5	42,3	39,3	46,0	36,5
20-30	62,3	70,0	66,0	58,8	63,0	59,8
30-40	81,5	71,5	77,0	77,0	68,3	77,0
40-50	82,5	79,5	82,5	83,5	74,5	83,0
50-60	83,5	83,0	84,0	84,5	77,5	84,0
60-70	—	—	—	—	82,5	—
Ângulo médio do coberto	43	51	46	44	48	42

4.2.1.3. EXTINÇÃO DA RADIAÇÃO NOS COBERTOS

O regime de radiação diferiu entre os cobertos, correlacionando-se a curva de extinção da radiação fotossinteticamente activa (PAR) com as áreas acumuladas, de forma distinta para os cobertos existentes nos três anos de estudo.

Em 1994, na AFC, a extinção da PAR (Figura 40-AFC) foi gradual, aumentando a percentagem extinta do topo para a base, onde ocorreu a maior percentagem de extinção. Entre os 20 e os 55 cm extinguiram-se 32,5% da PAR (Figura 47-1994), nos 20 cm mais próximos do solo extinguiram-se 42%, encontrando-se cerca de 50% da fitomassa total nestes quatro estratos, que corresponderam a 70% da área total do coberto. Atingiram o solo 19% da PAR total e 6,5% foram reflectidos. O valor do coeficiente médio diário de extinção da PAR ($k_{\text{médio}}$) foi de 0,74 ($r^2_{\text{aj}}=0,978$, $p<0,001$), usando os valores de PAIacum, encontrando-se uma boa correlação entre a extinção e a área da fitomassa existente em cada estrato, o que é compreensível, pois a necromassa e os órgãos reprodutores representaram uma fracção importante (62%) desta estrutura vertical. O valor do LAI do coberto também foi muito baixo, apenas 0,19.

A PAR difusa também se extinguiu em função das áreas totais, correlacionando-se mais fortemente com o PAIacum ($k_{\text{médio}}=0,39$; $r^2_{\text{aj}}=0,951$, $p<0,001$) que com os outros índices de área acumulados. A extinção foi muito fraca até aos 10 cm de altura do coberto, extinguindo-se 30% entre os 0 e os 10 cm e atingindo o solo 38% da PAR difusa total.

Em 1994, o perfil da extinção da PAR no coberto da ASC foi um pouco diferente do descrito para a AFC (Figura 40-ASC), entre os 25 e os 55 cm de altura apenas se extinguiram 16% da PAR, dos 20 aos 25 cm 7% e nos seguintes 20 cm 44% da PAR foi interceptada (Figura 48-1994). Atingiram o solo 16% da PAR total e 17% foram reflectidos pelo coberto.

Nos estratos em que a extinção da luz foi mais elevada (0-20 cm) concentraram-se cerca de 58% da fitomassa do coberto, correspondendo a 63% da área total das estruturas verdes. Dos 55 até aos 25 cm extinguiram-se 16% da PAR total, correspondendo a 30% da área de estruturas fotossinteticamente activas. O valor de $k_{\text{médio}}$ foi 0,49 encontrando-se o melhor ajustamento para a extinção da PAR usando os valores do PAIacum ($r^2_{\text{aj}}=0,907$,

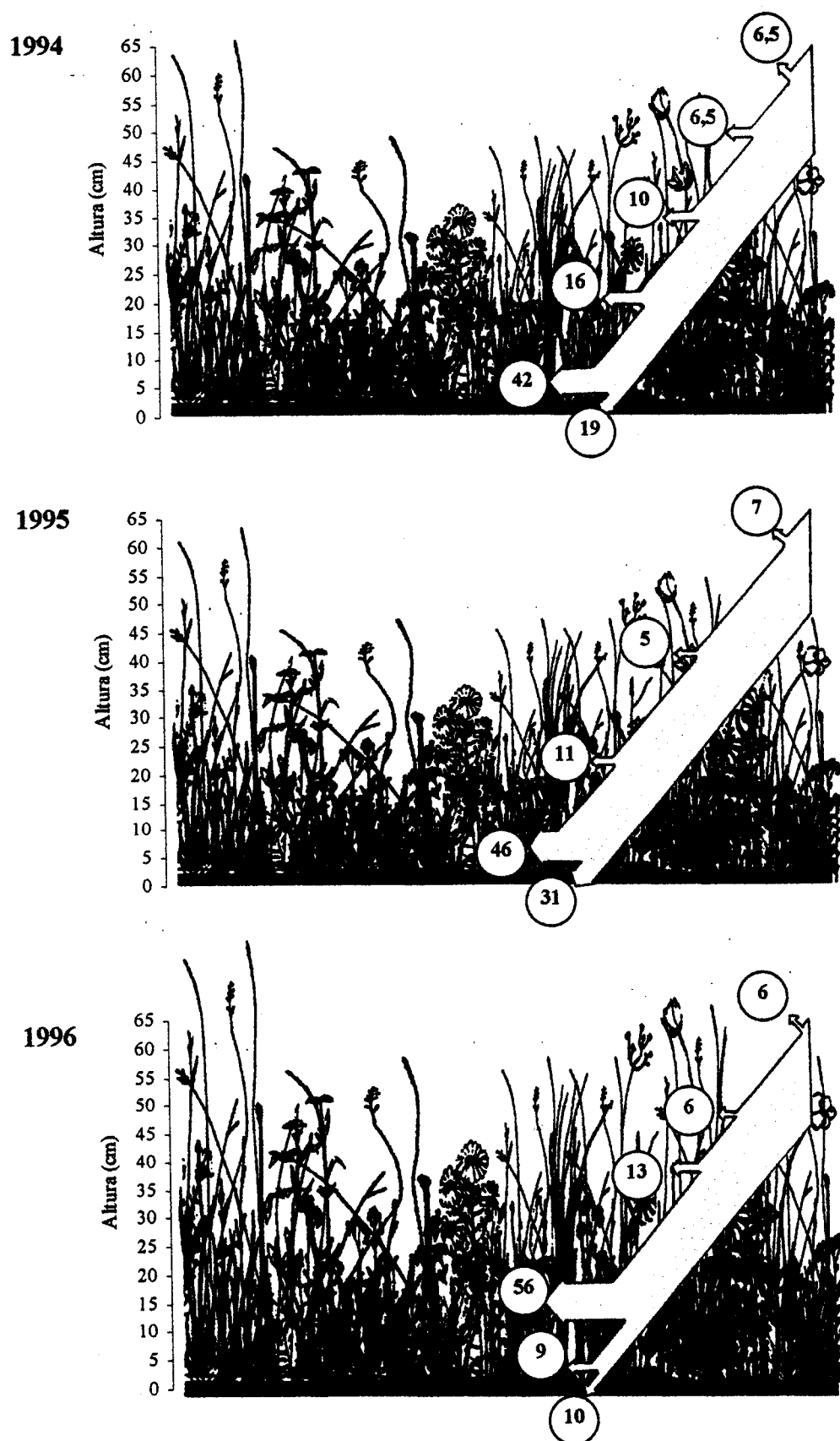


Figura 47. Extinção da radiação fotossinteticamente activa (PAR), em percentagem, ao longo dos estratos dos cobertos das AFC, para os três anos de estudo.

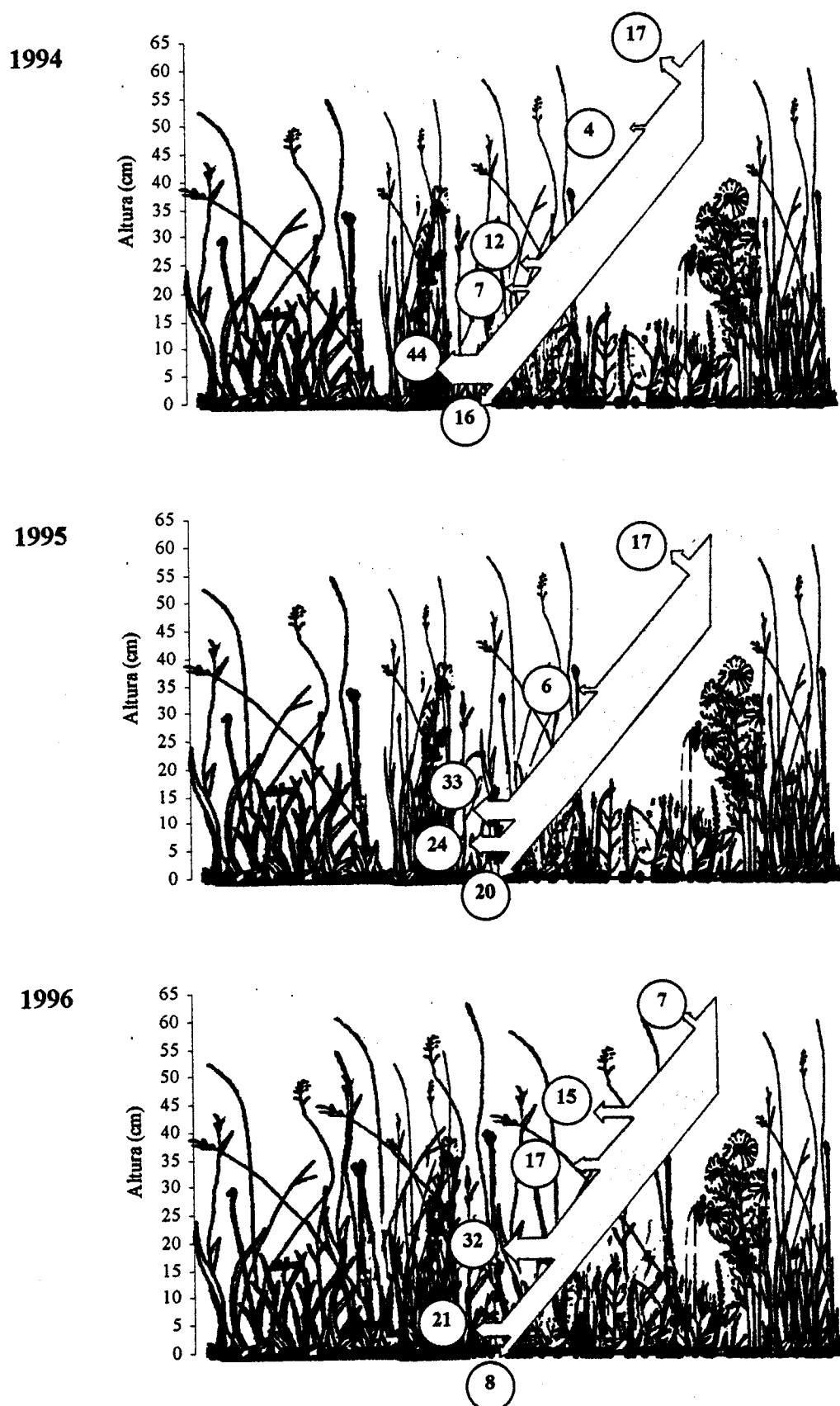


Figura 48. Extinção da radiação fotossinteticamente activa (PAR), em percentagem, ao longo dos estratos dos cobertos das ASC, para os três anos de estudo.

$p < 0,001$). Tal como no coberto da AFC, a percentagem de estruturas fotossinteticamente activas foi muito baixa, representando apenas de 47% da fitomassa total, tendo sido o valor do LAI de apenas 0,64.

A PAR difusa também se correlacionou melhor com o PAIacum ($k_{\text{médio}} = 0,45$; $r^2_{\text{aj}} = 0,971$, $0,001 < p < 0,01$) e a sua curva de extinção foi semelhante à da PAR difusa na AFC/94, extinguindo-se 23% nos últimos 10 cm e atingindo o solo 28% da PAR total.

Em 1995 o perfil de extinção da PAR (Figura 41-AFC) para o coberto da AFC foi semelhante ao de 1994, dos 55 aos 20 cm apenas se extinguíram 16% da PAR, dos 0 aos 20 cm 46% e atingiram o solo 31% da PAR total, tendo sido reflectidos 7% (Figura 47-1995). Os estratos onde se verificou a maior percentagem de extinção (0-20 cm) concentraram 60% da fitomassa (desta fitomassa 40% eram folhas) e 70% da área total das estruturas do coberto. A curva de extinção ajustou-se melhor com o GAIacum, tendo o valor de $k_{\text{médio}}$ sido de 0,58 ($r^2_{\text{aj}} = 0,922$, $0,001 < p < 0,01$), um valor inferior ao obtido para 1994. Apesar da biomassa de estruturas fotossinteticamente activas no coberto ter sido idêntica à do ano anterior o valor do LAI do coberto foi muito mais elevado (0,70), explicando-se assim o melhor ajustamento com os valores do GAI (áreas de estruturas fotossinteticamente activas).

A PAR difusa apresentou um perfil idêntico ao da AFC em 1994, extinguindo-se 26% entre 0-10 cm e atingindo o solo 36% da PAR difusa total. A curva de extinção da PAR difusa correlacionou-se melhor com o GAIacum ($k_{\text{médio}} = 0,32$; $r^2_{\text{aj}} = 0,940$, $0,001 < p < 0,01$).

A estrutura do coberto da ASC em 1995 foi semelhante à de 1994 (figura 41-ASC), extinguindo-se a PAR gradualmente do topo até à base. Dos 35 aos 55 cm extinguíram-se 6%, entre os 10 e os 35 cm 33% e 24% entre 0 e 10 cm. Atingiram o solo 20% da PAR incidente e 17% foram reflectidos (Figura 48-1995). A fitomassa concentrou-se na metade inferior do coberto entre os 0-25 cm e nestes estratos extinguiu-se 45% da PAR, enquanto entre 25-55 cm apenas se extinguíram 19%. A curva de extinção ajustou-se melhor ao GAIacum, tal como o observado para o coberto da AFC, tendo sido o valor de $k_{\text{médio}}$ de 0,62 ($r^2_{\text{aj}} = 0,976$, $0,001 < p < 0,01$). A proporção de estruturas fotossinteticamente activas no coberto foi semelhante à do coberto da ASC do ano anterior, no entanto, o valor do LAI do coberto foi de 1,57.

A PAR difusa apresentou uma correlação mais forte com GAIacum ($k_{\text{médio}} = 0,46$; $r^2_{\text{aj}} =$

=0,918, $0,001 < p < 0,01$), e o perfil foi semelhante ao dos cobertos anteriores extinguindo-se 39% da PAR difusa entre os 0 e os 10 cm e atingindo o solo 29%.

Em 1996, em que a produção de fitomassa foi muito superior à dos outros anos, os perfis de extinção da luz, tanto da AFC como da ASC, foram um pouco diferentes dos anos anteriores (Figura 42), extinguindo a maior percentagem da PAR numa camada intermédia do coberto e não nos estratos inferiores.

No coberto da AFC, a extinção da PAR incidente foi mais fraca nos estratos mais elevados (19% entre os 40 e os 65 cm) centrando-se numa faixa intermédia entre os 15 e os 40 cm (56%), correspondendo a estes estratos 60% da fitomassa total, 64% do LAI e 54% do PAI. Entre os 0 e os 15 cm extinguiram-se apenas 9% e 10% atingiram o solo (Figura 47-1996). Foram reflectidos 6% da PAR incidente. A curva de extinção ajustou-se melhor ao LAIacum, com um valor de $k_{\text{médio}}$ de 0,65 ($r^2_{\text{aj}}=0,995$, $p < 0,001$), o que se compreende pela elevada percentagem de componentes fotossinteticamente activos (63% da fitomassa total) existente no coberto e pelo elevado valor de LAI total 3,61.

A PAR difusa teve uma distribuição diferente da dos anos anteriores (Figura 42-AFC), sofreu uma quebra inicial (16%) nos dois estratos superiores e entre os 20 e os 40 cm extinguiu-se 42%, atingindo o solo 16%. Tal como a PAR directa, o perfil da PAR difusa evidencia que os estratos de maior absorção não foram os mais próximos do solo, como tinha sucedido nos perfis de 1994 e 1995, mas antes os que se encontram a uma altura intermédia do coberto. A PAR difusa apresentou uma correlação mais forte com LAIacum ($k_{\text{médio}}=0,41$; $r^2_{\text{aj}}=0,986$, $p < 0,001$) do que com os outros índices de área acumulados.

Em 1996 na ASC o perfil de extinção da luz foi distinto dos restantes cobertos (Figura 42-ASC), talvez devido ao maior desenvolvimento da fitomassa (130% a 160% dos valores dos anos anteriores nas ASC), apontando para uma maior absorção da radiação ao longo do coberto. Foi reflectida apenas 7% da luz incidente, enquanto nos anos anteriores para o mesmo tipo de coberto a percentagem de radiação reflectida foi de 18% e 17%. No coberto da ASC 15% da PAR incidente extinguiram-se entre os 45 e os 55 cm e 17% entre os 35 e os 45 cm (Figura 48-1996), correspondendo o LAI dos 55 aos 35 cm a apenas 3% do total. No entanto, em valor absoluto o LAI do coberto da ASC-96 foi triplo do ano anterior (ASC-95) e sete vezes superior ao de ASC-1994. Entre os 35 e os 20 cm extinguiram-se 32% da radiação

directa, correspondendo esta faixa a 40% do PAI total do coberto. Dos 0 aos 20 cm extinguiu-se apenas 21% da PAR, contendo estas camadas 60% da área total e 57% da fitomassa total. Provavelmente, o elevado índice de área de folhas verdes nos estratos superiores, entre os 35 e os 45 cm, no coberto da ASC-96 (0,15) em relação aos cobertos das ASC estudados em 1994 (0,04) e 1995 (0,05) alteraram o perfil de extinção, levando a uma absorção mais eficiente nas camadas superiores. O valor de $k_{\text{médio}}$ foi 0,50 ($r^2_{\text{aj}}=0,978$, $p<0,001$), ajustando-se melhor a curva de extinção com o LAIacum, pela mesma razão apontada para o coberto da AFC/96, grande percentagem de matéria verde (76% do total da fitomassa), em particular de folhas e um índice de área foliar elevado ($\text{LAI}=4,59$).

A PAR difusa apresentou uma correlação estreita com o LAIacum ($k_{\text{médio}}=0,48$; $r^2_{\text{aj}}=0,995$, $p<0,001$) e um perfil semelhante ao da AFC/96: uma percentagem de extinção não desprezável nos estratos superiores (21% dos 35 aos 55 cm), uma faixa de coberto intermédia (15 a 35 cm) onde foi absorvida 50% da radiação e apenas 8% atingiram o solo.

4.2.1.4. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA FITOMASSA

4.2.1.4.1. Fitomassa aérea

Dos nutrientes analisados nas herbáceas dos cobertos ASC e AFC, no máximo do desenvolvimento, os mais bem representados foram o N, o K e o Ca cujas concentrações variaram respectivamente entre 33,0 e 3,5 mg g⁻¹; 37,8 e 3,1 mg g⁻¹; e 22,6 e 1,2 mg g⁻¹ (Figura 51). O Mg e o P apresentaram concentrações mais baixas, variando o primeiro entre 5,0 e 0,4 mg g⁻¹ e o segundo entre 4,6 e 0,5 mg g⁻¹. O Mn apresentou concentrações entre 0,4 e 0,02 mg g⁻¹ (Figura 52). As concentrações destes nutrientes variaram em função do tipo de coberto, componente analisado e estado de maturidade desse componente. Os valores mais elevados de N, de K e de Mg foram obtidos nas folhas verdes, os de Ca e de Mn nas folhas mortas de Dicotiledóneas e os de P nos órgãos reprodutores de Dicotiledóneas.

Nos diversos componentes das Monocotiledóneas, tanto para as ASC como para as AFC, o N e o K apresentaram concentrações muito mais elevadas do que os restantes elementos (Figuras 49 e 50); o Ca foi o terceiro elemento mais representado, em especial nas

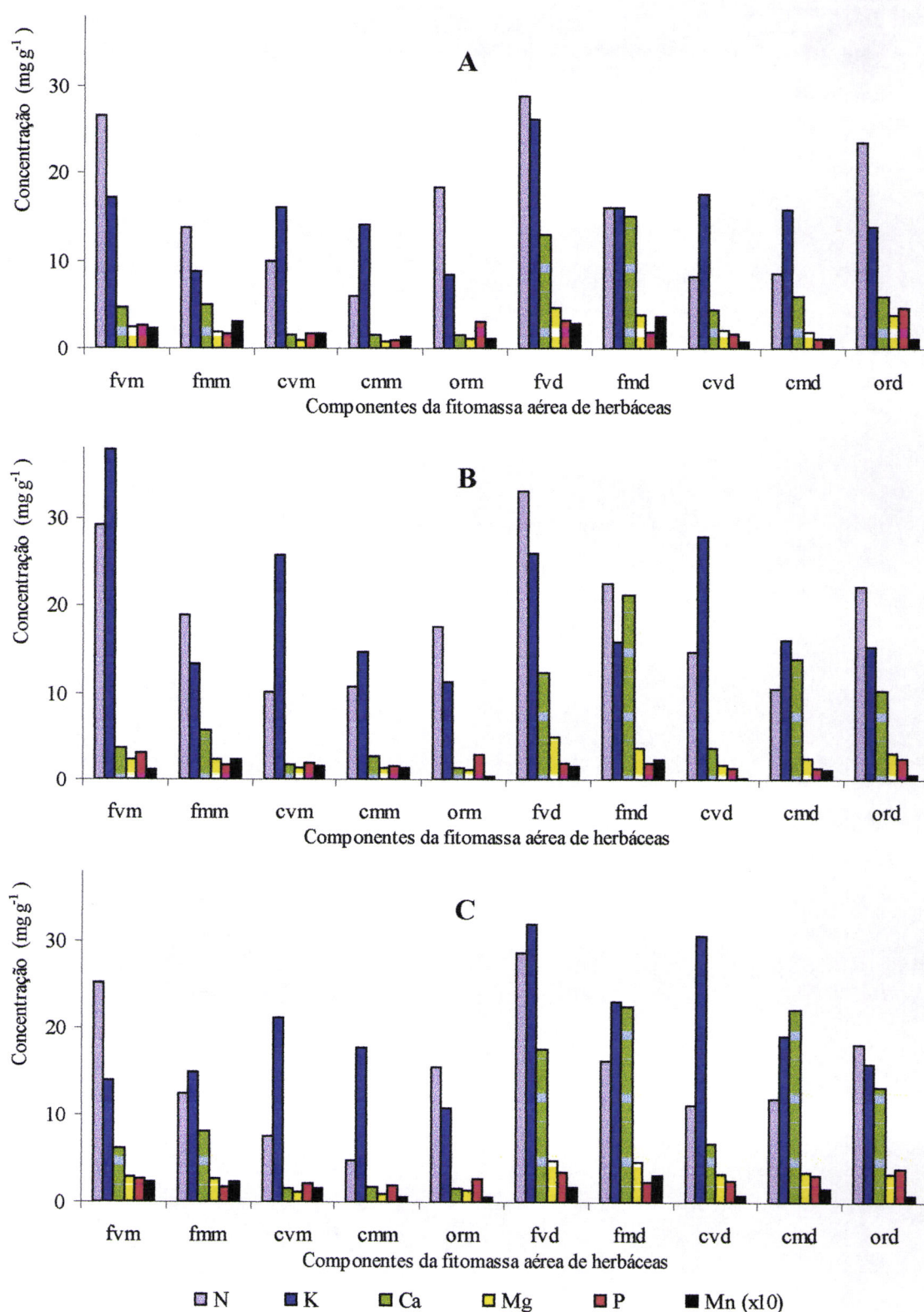


Figura 49. Concentrações de nutrientes (N, K, Ca, Mg, P, Mn (a concentração de Mn está aumentada 10 vezes)) em mg g^{-1} de MS nos diversos componentes, de Monocotiledóneas: fvm-folhas verdes, fmm- folhas mortas, cvm- caules verdes, cmm- caules mortos e orm- órgãos reprodutores e Dicotiledóneas: fvd-folhas verdes, fmd- folhas mortas, cvd- caules verdes, cmd- caules mortos e ord- órgãos reprodutores, dos cobertos da ASC no máximo desenvolvimento, em 1994 (A), 1995 (B) e 1996 (C).

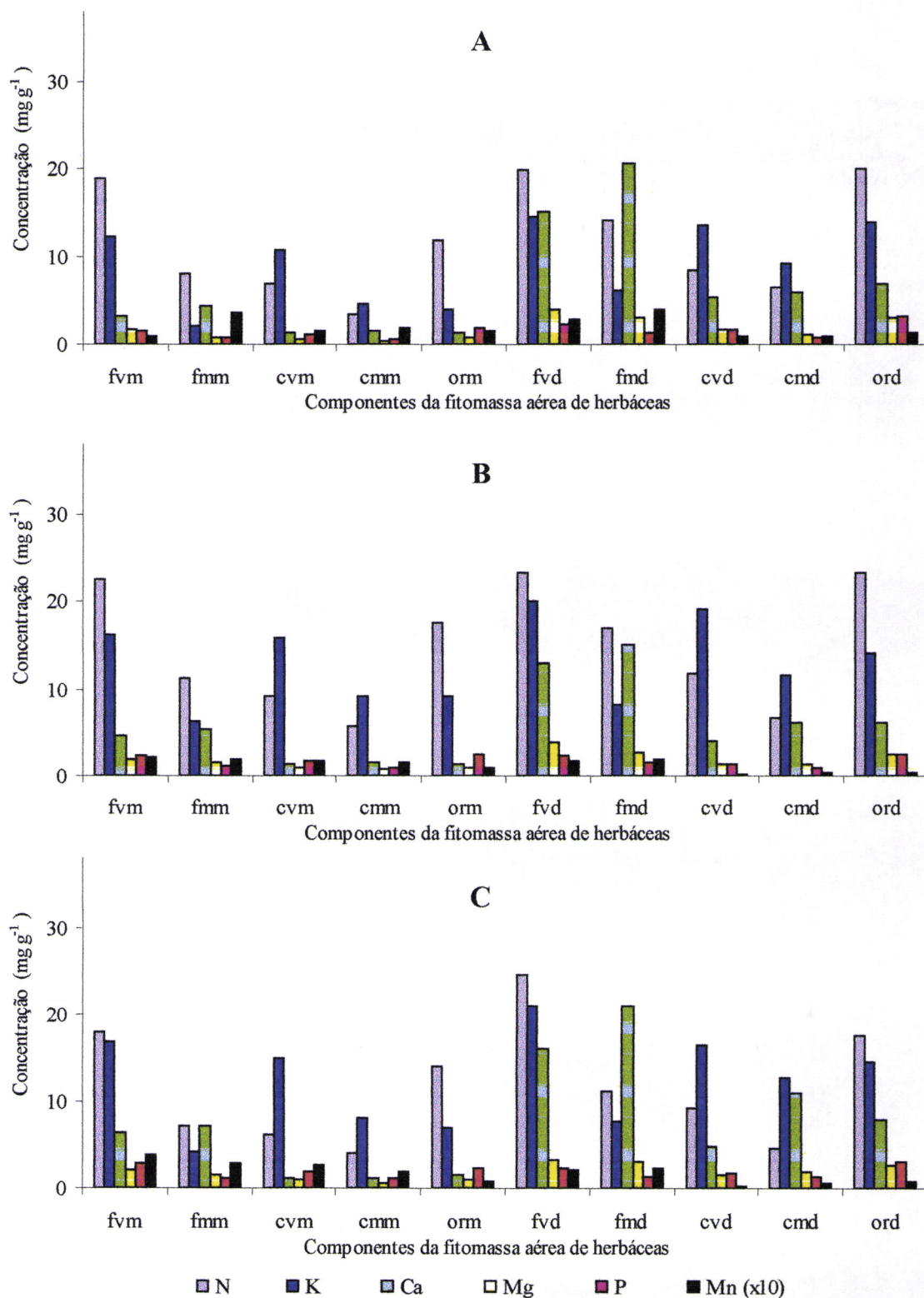


Figura 50. Concentrações de nutrientes (N, K, Ca, Mg, P, Mn (a concentração de Mn está aumentada 10 vezes)) em mg g^{-1} de MS nos diversos componentes, de Monocotiledóneas: fvm-folhas verdes, fmm- folhas mortas, cvm- caules verdes, cmm- caules mortos e orm- órgãos reprodutores e Dicotiledóneas: fvd-folhas verdes, fmd- folhas mortas, cvd- caules verdes, cmd- caules mortos e ord- órgãos reprodutores, dos cobertos da AFC no máximo desenvolvimento, em 1994 (A), 1995 (B) e 1996 (C).

folhas mortas. Nos caules (verdes e mortos) e nas folhas verdes a concentração de P foi superior à de Mg, sucedendo o inverso para as folhas mortas. O Mn apresentou concentrações muito mais baixas do que os restantes elementos, estando mais representado nas folhas que nos caules.

Tanto para as ASC como para as AFC, os diversos componentes das Dicotiledóneas apresentaram as concentrações mais elevadas de N, de K e de Ca que dos restantes elementos (Figuras 49 e 50). Nas folhas verdes o elemento mais representado foi o N, seguido do K e do Ca, e nas folhas mortas foi o Ca que apresentou concentrações mais elevadas, seguido do N e do K. O K foi o elemento predominante nos caules, seguido pelo N (nos caules verdes) e pelo Ca (nos caules mortos). O Mn apresentou concentrações muito mais baixas que os restantes elementos, estando mais representado nas folhas que nos restantes componentes.

Os órgãos reprodutores, em todas as situações estudadas, apresentaram elevadas concentrações de N e P.

As concentrações da fitomassa total de herbáceas em N, K, Ca, Mg, P e Mn foram superiores em média para as ASC em relação às AFC, comparando os dois cobertos ano a ano (Quadro 26). As concentrações dos cobertos variaram, porém, ao longo dos anos.

O N apresentou concentrações mais elevadas nas ASC (Figura 51) do que nas AFC, em especial para as folhas (o componente com maior concentração de N), tendo os órgãos reprodutores apresentado valores mais próximos entre cobertos.

As Dicotiledóneas evidenciaram concentrações de N, superiores às das Monocotiledóneas, para todos os componentes. Em média, ocorreram em 1995, as concentrações mais elevadas de N em todos os componentes, das ASC e das AFC.

O K também foi mais abundante nas ASC e no grupo das Dicotiledóneas (Figura 51). As folhas verdes e os caules verdes registaram as concentrações mais elevadas de K, e os órgãos reprodutores os valores mais baixos deste elemento. Os valores mais baixos de K ocorreram em 1994 e os mais elevados em 1996, para ambos os cobertos.

Os valores de Ca para as Dicotiledóneas foram muito superiores (três vezes ou mais) aos registados para as Monocotiledóneas (Figura 51). As concentrações de Ca nos diversos componentes das ASC e das AFC foram muito semelhantes, excepto os caules mortos de Dicotiledóneas que apresentaram uma concentração muito superior nas ASC, em especial no

ano de 1996. As folhas mortas foram o componente com maior concentração de Ca, logo seguidas pelas folhas verdes. Em 1996, verificaram-se as concentrações mais elevadas de Ca, para a maioria dos componentes e em 1994 as concentrações mais baixas.

O Mg apresentou um padrão (Figura 52) semelhante ao N, no entanto a sua concentração na fitomassa total aumentou de 1994 a 1996 (Quadro 26).

O P apresentou valores ligeiramente superiores nas ASC, em relação às AFC (Figura 52). As Monocotiledóneas e Dicotiledóneas registaram concentrações muito semelhantes de P, tendo as folhas verdes e os órgãos reprodutores apresentado as concentrações máximas. Não existiu um padrão conjunto na distribuição das concentrações anuais de P, estas aumentaram de 1994 a 1996 para as AFC, não tendo sucedido o mesmo para as ASC.

O Mn apresentou concentrações aproximadas nos dois cobertos, ligeiramente superiores para as ASC (Figura 52). As folhas foram o componente com concentrações mais elevadas de Mn, que registou valores um pouco superiores nas Dicotiledóneas. Em 1994, registaram-se as concentrações mais elevadas de Mn para muitos dos componentes, em especial para as ASC.

Quadro 26. Concentrações de nutrientes na fitomassa aérea de herbáceas, em mg g^{-1} , no máximo desenvolvimento da vegetação, nas ASC e nas AFC, para os três anos de estudo.

	N	K	Ca	Mg	P	Mn
AFC94	11,8	10,6	5,9	1,78	1,79	0,15
ASC94	15,7	15,5	5,2	2,26	2,42	0,17
AFC95	16,1	13,8	6,9	2,05	1,82	0,10
ASC95	19,4	21,3	7,7	2,50	2,01	0,13
AFC96	13,9	15,3	9,4	2,18	2,08	0,13
ASC96	17,1	25,9	10,7	3,46	2,81	0,13

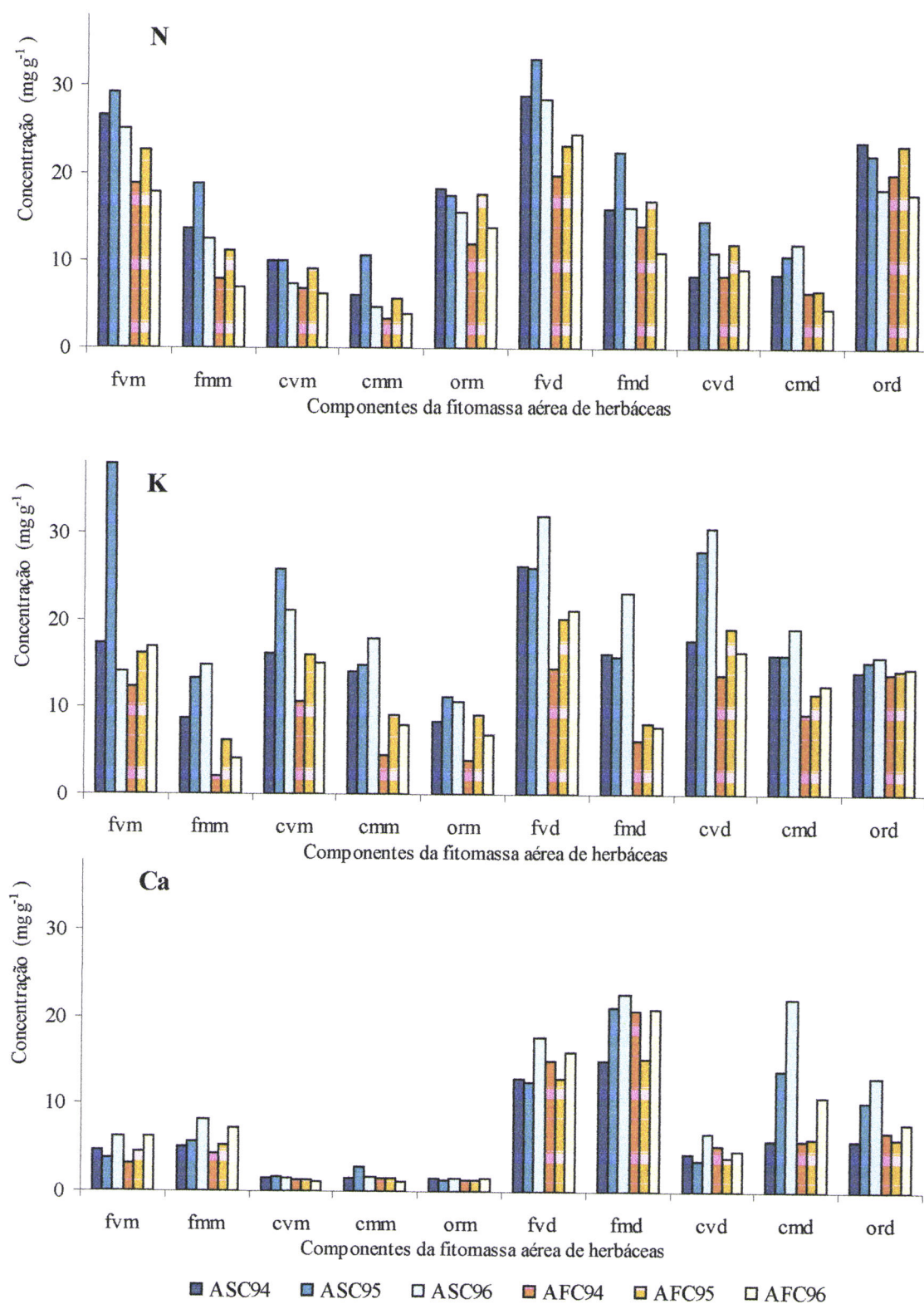


Figura 51. Concentrações de N, K e Ca, em mg g^{-1} de MS, nos diversos componentes de Monocotiledóneas: fvm-folhas verdes, fmm- folhas mortas, cvm- caules verdes, cmm- caules mortos e orm- órgãos reprodutores e Dicotiledóneas: fvd-folhas verdes, fmd- folhas mortas, cvd- caules verdes, cmd- caules mortos e ord- órgãos reprodutores, das herbáceas das AFC e das ASC, no máximo desenvolvimento, em 1994, 1995 e 1996.

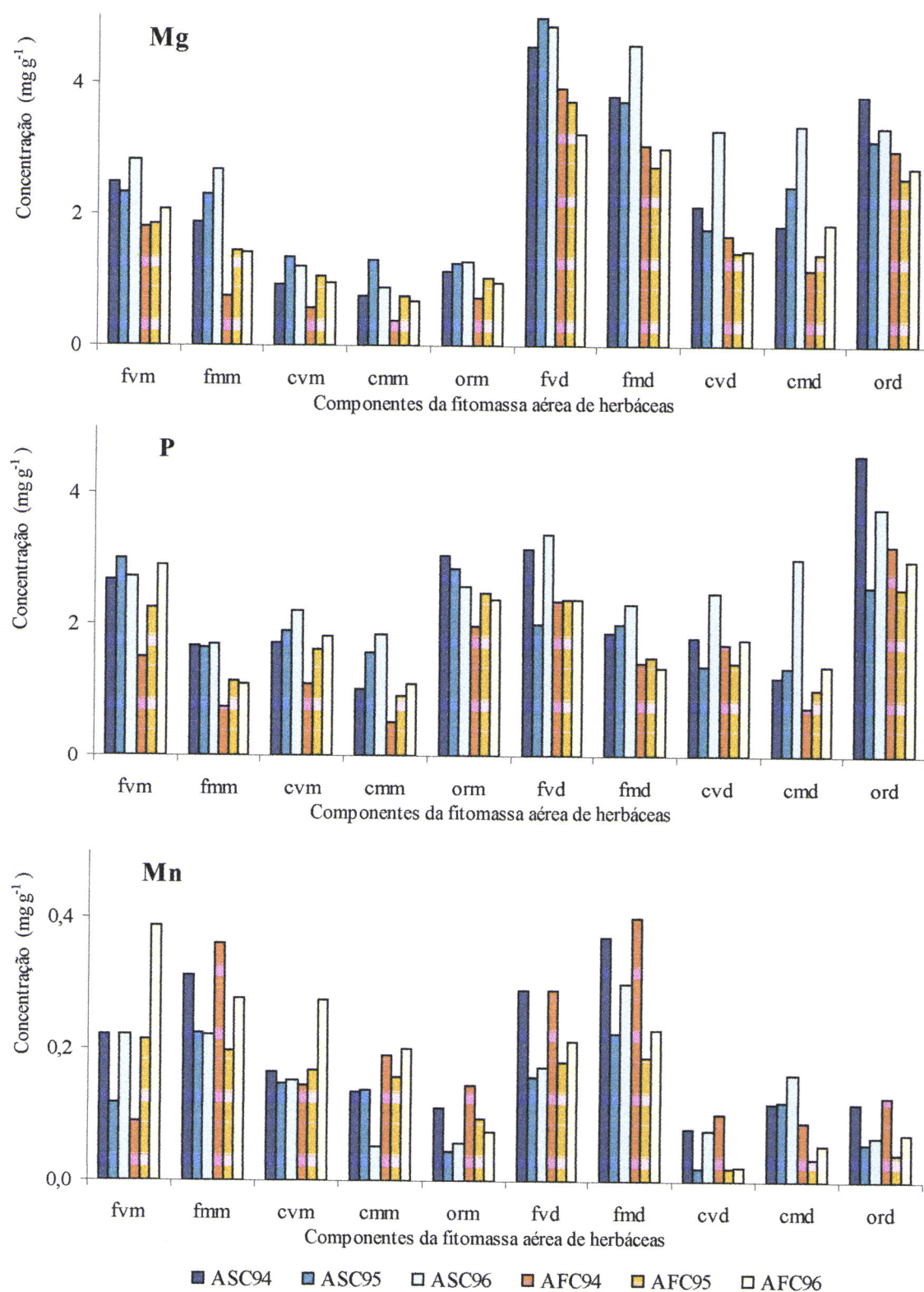


Figura 52. Concentrações de **Mg**, **P** e **Mn**, em mg g⁻¹ de MS, nos diversos componentes de Monocotiledóneas: fvm-folhas verdes, fmm- folhas mortas, cvm- caules verdes, cmm- caules mortos e orm- órgãos reprodutores e Dicotiledóneas: fvd-folhas verdes, fmd- folhas mortas, cvd- caules verdes, cmd- caules mortos e ord- órgãos reprodutores, das herbáceas das AFC e das ASC, no máximo desenvolvimento, em 1994, 1995 e 1996.

Considerando o peso de todos os componentes da fitomassa, no máximo desenvolvimento da vegetação herbácea, e a sua composição química, foi possível avaliar qual a quantidade de nutrientes nos cobertos das ASC e das AFC para os três anos de estudo (Quadro 27). Apesar das concentrações dos nutrientes terem sido superiores nos componentes das ASC, a composição química dos cobertos das AFC foi, por vezes, mais rica nestes elementos. Este facto fica a dever-se aos valores mais elevados de fitomassa para os cobertos da AFC e à sua composição florística, que registou uma percentagem mais elevada de Dicotiledóneas.

Quadro 27. Valores de N, de K, de Ca, de Mg, P e de Mn, em g m⁻², na fitomassa aérea dos cobertos de herbáceas, no máximo desenvolvimento da vegetação, nas ASC e nas AFC, para os três anos de estudo.

	N	K	Ca	Mg	P	Mn
AFC94	5,3	4,7	2,7	0,80	0,80	0,07
ASC94	6,6	6,5	2,2	0,95	1,02	0,07
AFC95	7,7	6,6	3,3	0,98	0,87	0,05
ASC95	6,4	7,0	2,5	0,82	0,66	0,04
AFC96	14,4	15,8	9,7	2,25	2,15	0,13
ASC96	9,2	13,9	5,8	1,86	1,51	0,07

Em 1994 a fitomassa do coberto da ASC apresentou valores superiores de N, de K, de Mg e de P, em relação ao coberto da AFC, devido, por um lado aos valores da fitomassa das duas áreas não terem sido muito díspares e por outro à superior concentração nos nutrientes referidos nos componentes da ASC. Os valores em nutrientes das AFC, em 1995 e 1996, foram superiores aos das ASC, excepto o K em 1995, devido à fitomassa das primeiras ter sido muito superior à das segundas.

O teor em água dos componentes das herbáceas da ASC foi superior ao das herbáceas da AFC, em particular das Monocotiledóneas, que apresentaram nas ASC um teor em água duas vezes mais elevado que nas AFC (Quadro 28).

A proporção de MO no peso seco foi superior nas herbáceas da AFC em relação às herbáceas da ASC, e mais elevada nas Monocotiledóneas em relação às Dicotiledóneas.

As ASC foram mais ricas em proteínas e lípidos, enquanto as AFC apresentaram um teor mais elevado em hidratos de carbono estruturais (fibras) (Quadro 28). As Dicotiledóneas, em ambos os cobertos, foram mais ricas que as Monocotiledóneas em proteínas, lípidos e, em especial, lenhinas. As Monocotiledóneas apresentaram os valores mais elevados de celuloses e hemiceluloses.

A composição orgânica da vegetação herbácea das ASC e das AFC (Quadro 29) variou entre cobertos e ao longo dos anos. Apesar de percentualmente a vegetação das ASC ser mais rica em lípidos, as AFC registaram valores absolutos superiores, em parte devido à

Quadro 28. Valores percentuais de água, no peso fresco, MO, no peso seco, e componentes orgânicos nas Monocotiledóneas (Monoc) e Dicotiledóneas (Dicot) nas ASC e AFC. * valores expressos na matéria orgânica (MO).

Valores percentuais		ASC		AFC	
		Monoc	Dicot	Monoc	Dicot
Água (peso fresco)		65	76	30	65
MO (peso seco)		95	86	96	90
Proteínas*		11,2	12	5,5	7,7
Lípidos*		4,0	4,2	3,5	3,6
Fibras*	Celuloses	41,0	30,5	44,4	33,2
	Hemiceluloses	27,0	9,1	31,0	12,4
	Lenhinas	3,3	7,8	3,5	8

maior quantidade de fitomassa registada nestes cobertos. O facto das Dicotiledóneas terem sido mais abundantes que as Monocotiledóneas, nas AFC, também contribuiu para as diferenças de composição observadas. Apenas as proteínas, em 1994 e 1995, e os lípidos, em 1994, registaram valores superiores para a vegetação das ASC.

Quadro 29. Valores dos componentes orgânicos da fitomassa de herbáceas, em g m^{-2} , nas ASC e nas AFC, no máximo desenvolvimento da vegetação, ao longo dos anos de estudo.

	Proteínas	Lípidos	Fibras		
			Celuloses	Hemiceluloses	Lenhinas
AFC94	28,8	14,7	151,8	75,9	27,0
ASC94	44,1	15,6	135,9	68,6	21,1
AFC95	31,2	15,6	156,8	74,1	30,1
ASC95	34,4	12,2	107,2	55,1	16,1
AFC96	69,1	33,7	328,5	144,0	68,5
ASC96	55,8	19,6	154,5	61,1	32,2

4.2.1.4.2. Fitomassa subterrânea

O N foi o elemento que apresentou concentrações mais elevadas nas raízes analisadas (Figura 53) variando entre $17,5 \text{ mg g}^{-1}\text{MO}$ e $8,7 \text{ mg g}^{-1}\text{MO}$. O Ca foi o segundo elemento melhor representado, com concentrações que oscilaram entre $5,6$ e $0,9 \text{ mg g}^{-1}\text{MO}$ (Figura 53). O K e o Mg registaram concentrações semelhantes (Figuras 53 e 54), variando o primeiro entre $3,5$ e $0,4 \text{ mg g}^{-1}\text{MO}$ e o segundo entre $2,9$ e $0,6 \text{ mg g}^{-1}\text{MO}$. O P (Figura 54) variou entre $1,5$ e $0,5 \text{ mg g}^{-1}\text{MO}$. O Mn (Figura 54) foi o elemento que registou as concentrações mais baixas, de $0,3$ a $0,01 \text{ mg g}^{-1}\text{MO}$, este último valor registado para ASC/1995 no estrato 5-20 cm.

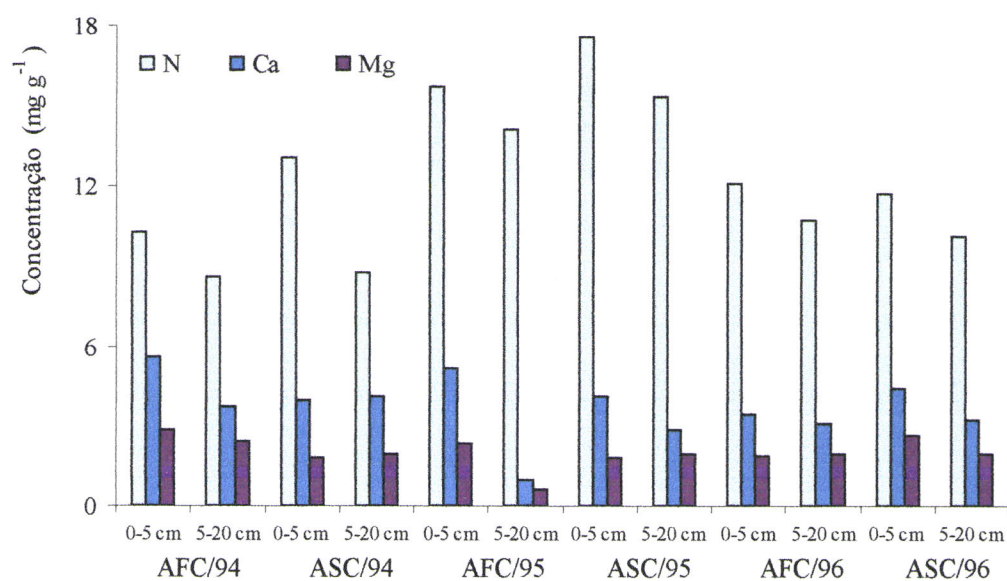


Figura 53. Concentrações de N, Ca e Mg, em mg g⁻¹ de MO, nas raízes de herbáceas, às profundidades de 0-5 cm e 5-20 cm, na AFC e na ASC, no máximo desenvolvimento da vegetação, em 1994, 1995 e 1996.

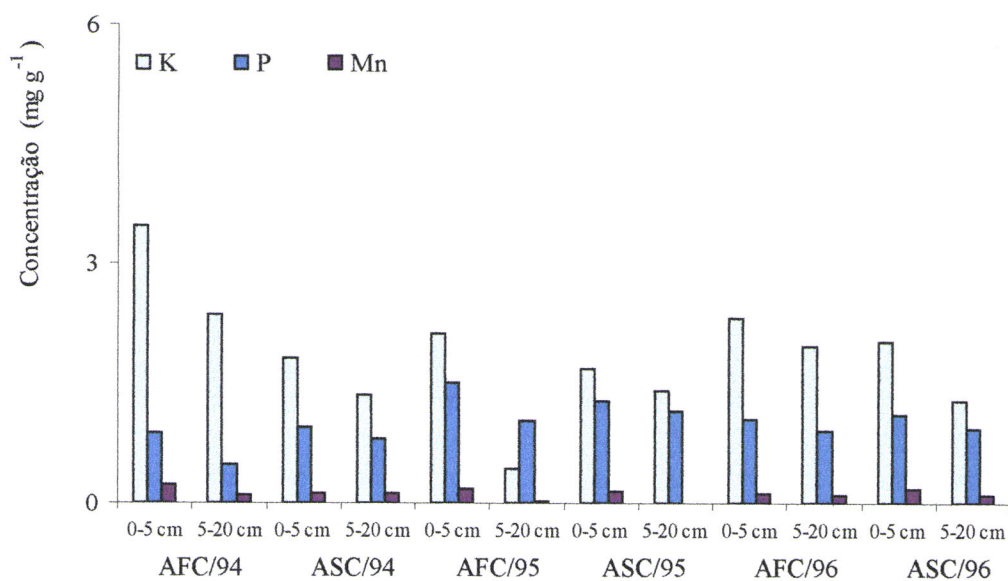


Figura 54. Concentrações de K, P e Mn, em mg g⁻¹ de MO, nas raízes de herbáceas, às profundidades de 0-5 cm e 5-20 cm, nas AFC e ASC, no máximo desenvolvimento da vegetação, em 1994, 1995 e 1996.

As raízes das herbáceas das AFC no máximo desenvolvimento da vegetação registaram concentrações médias, para os três anos de estudo, mais elevadas do que as herbáceas das ASC para o K, o Ca, o Mg e o Mn (Quadro 30). A concentração média de N foi superior para as raízes de herbáceas da ASC e a concentração média de P foi idêntica nos dois cobertos.

Os valores das concentrações de N, de P, de K e de Ca foram inferiores na fitomassa subterrânea relativamente à fitomassa aérea, tendo as concentrações de Mg e de Mn sido semelhantes entre a fracção aérea e subterrânea das herbáceas, nos dois cobertos.

O padrão da concentração de N nas raízes das herbáceas foi semelhante ao da fitomassa aérea, para os dois cobertos, tendo-se registado as concentrações máximas em 1995. O P também apresentou as concentrações mais elevadas nas raízes de herbáceas da ASC e da AFC em 1995, não se verificando o mesmo padrão entre as concentrações anuais de P na fitomassa aérea e subterrânea. Os padrões das concentrações de K, de Mg, de Ca e de Mn na fitomassa subterrânea não foram semelhantes aos observados na fitomassa aérea.

Quadro 30. Concentrações de nutrientes na fitomassa subterrânea de herbáceas, em mg g^{-1} de MO, no máximo desenvolvimento da vegetação, nas ASC e nas AFC, para os três anos de estudo.

	N	K	Ca	Mg	P	Mn
AFC94	9,79	3,12	5,04	2,74	0,75	0,18
ASC94	11,40	1,62	4,00	1,86	0,89	0,13
AFC95	15,31	1,73	4,22	1,92	1,39	0,15
ASC95	16,65	1,57	3,62	1,84	1,23	0,08
AFC96	11,73	2,22	3,33	1,91	1,01	0,11
ASC96	11,05	1,70	3,95	2,35	1,02	0,15

A quantidade de nutrientes presentes nas raízes das herbáceas das AFC (Quadro 31) foi mais elevada que a registada nas raízes das herbáceas das ASC, mesmo para o N cuja concentração foi superior nas ASC. O facto da fitomassa subterrânea ter sido muito superior nas AFC em relação às ASC, justifica os valores mais elevados de N para a fitomassa subterrânea das AFC e as diferenças, já existentes a nível de concentração, entre as quantidades dos restantes nutrientes na fitomassa subterrânea das ASC e das AFC.

Quadro 31. Valores de N, de K, de Ca, de Mg, de P e de Mn, em g m^{-2} , na fitomassa subterrânea dos cobertos de herbáceas, no máximo desenvolvimento da vegetação, nas ASC e nas AFC, para os três anos de estudo.

	N	K	Ca	Mg	P	Mn
AFC94	2,01	0,64	1,04	0,56	0,15	0,04
ASC94	1,28	0,18	0,45	0,21	0,10	0,01
AFC95	3,23	0,37	0,89	0,41	0,29	0,03
ASC95	2,05	0,19	0,45	0,23	0,15	0,01
AFC96	2,66	0,50	0,76	0,43	0,23	0,02
ASC96	1,34	0,21	0,48	0,29	0,12	0,02

4.2.1.5. DECOMPOSIÇÃO E DINÂMICA DOS NUTRIENTES

As herbáceas das ASC (hASC) e das AFC (hAFC) colocadas a decompôr em Outubro de 1994, apresentavam a composição mineral e orgânica descrita no Quadro 32. As hASC e da hAFC registaram uma concentração semelhante em N, tendo as primeiras valores mais elevados de Ca, de K e de P e as segundas de Mg e de Mn. O teor em cinza e lípidos foi mais elevado nas hASC, tendo as hAFC apresentando um teor superior em celulose, hemicelulose e

lenhina, em relação às primeiras. A razão C/N foi semelhante nos dois tipos de herbáceas colocadas a decompor, tendo sido a razão lenhina/N mais elevada para as herbáceas da AFC do que para as herbáceas da ASC.

As hAFC evidenciaram um decréscimo da MO um pouco mais lento que o das hASC durante o primeiro ano de decomposição (Figura 55). No primeiro mês, a MO remanescente baixou para 80% (hAFC) e 70% (hASC). Esta fase inicial, em que ocorreu uma grande perda de peso, correspondeu, certamente, à lixiviação de materiais hidrossolúveis. De Outubro/94 a Janeiro/95 registaram-se taxas de decomposição mais elevadas para as hASC – $-1,26 \text{ ano}^{-1}$ para as hAFC e $-1,99 \text{ ano}^{-1}$ para as hASC.

Quadro 32. Características minerais e orgânicas das herbáceas colocadas a decompor em Outubro de 1994; CE – celulose, HE– hemicelulose, LE – lenhina.

	N	Ca	K	Mg	Mn	P	Cinza	Lípidos	CE	HE	LE	C/N	LE/N
	mg g ⁻¹ peso seco							mg g ⁻¹ MO					
ASC	10,1	5,9	22,5	2,2	0,2	2,0	95	48	313	94	65	45,7	6,0
AFC	10,2	4,8	14,4	2,4	0,3	1,5	68	34	354	122	71	46,2	6,6

Passada esta primeira fase, a taxa de decomposição continuou mais alta – de Novembro/94 a Junho/95 – para as hASC ($-1,26 \text{ ano}^{-1}$) que para as hAFC ($-1,00 \text{ ano}^{-1}$), tendo sido ambas mais baixas do que as registadas para o intervalo de tempo anterior. Neste período, época de Inverno e Primavera, a precipitação foi intensa (277 mm). De Junho/95 a Setembro/95 as taxas baixaram, mais para as hASC ($-0,905 \text{ ano}^{-1}$) que para as hAFC ($-0,979 \text{ ano}^{-1}$), processando-se a decomposição mais lentamente durante o Verão, quando a precipitação foi menos intensa (65 mm).

Durante o segundo ano de decomposição – de Dezembro/95 a Dezembro/96 – as hASC ($k = -0,99 \text{ ano}^{-1}$) e as hAFC ($k = -1,00 \text{ ano}^{-1}$) apresentaram taxas de decomposição semelhantes, tendo sido a perda de peso mais significativa entre Dezembro/95 e Julho/96 – as hASC perderam 23% da MO remanescente e as hAFC 16% – que entre Julho e Dezembro de

1996, em que a MO libertada foi de 5% para os dois tipos de herbáceas a decompor.

As taxas de decomposição da MO, em ambas as herbáceas, foram mais elevadas nos primeiros três meses, baixaram durante os nove meses seguintes e foram mais baixas ainda durante o segundo ano. Durante o processo de decomposição das herbáceas as fases de maior libertação da MO corresponderam aos períodos de Inverno e Primavera e as fases em que a libertação foi mais lenta às épocas de Verão e Outono. As fases de maior perda de peso ocorreram entre Outubro/94 e Fevereiro/95 e entre Dezembro/95 e Abril/96, correspondendo a épocas de elevada precipitação (Figura 5).

A proporção de MO libertada apresentou uma forte correlação com a precipitação acumulada no decurso do processo de decomposição das hAFC ($r^2=0,928$, $n=14$, $p<0,001$), verificando-se uma situação semelhante para as hASC ($r^2=0,936$, $n=19$, $p<0,001$).

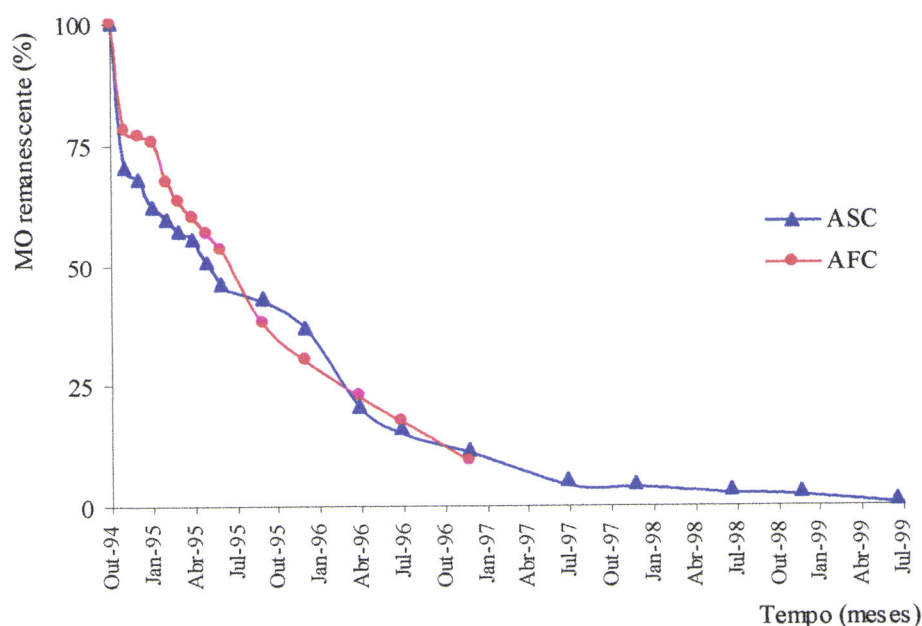


Figura 55. Percentagem de matéria orgânica (MO) remanescente ao longo do processo de decomposição das herbáceas da área sob coberto (ASC) e da área fora do coberto (AFC).

Dado que a decomposição da MO foi mais rápida nas épocas de maior precipitação, faz sentido que a decomposição das herbáceas das áreas sob copa tenha sido mais rápida numa fase inicial do que a das herbáceas fora da copa, uma vez que a disponibilidade hídrica daquelas áreas foi sempre superior à destas (Quadro 17).

Quando terminou o estudo do processo da decomposição das hAFC, passados 27 meses, as taxas foram de $-1,03 \text{ ano}^{-1}$ (hAFC) e $-1,01 \text{ ano}^{-1}$ (hASC) e apenas restavam 9% e 11% da MO original, respectivamente. Considerando o período de decomposição de 27 meses, os valores do “turnover” foram de 0,97 anos e 0,99 anos e os tempos de semi-vida 0,67 anos e 0,69 anos, para as hAFC e as hASC, respectivamente.

No final do estudo para as hASC, passados quase cinco anos, a taxa de decomposição foi de $-0,93 \text{ ano}^{-1}$, restaram apenas 1,4 % da MO inicial e os valores do “turnover” e do tempo de semi-vida foram, por esta ordem, 1,07 anos e 0,75 anos.

O decréscimo de N, ao longo do processo de decomposição, ao contrário do verificado para a MO, foi mais rápido para as hAFC que para as hASC (Figura 56). Para as primeiras, ocorreu um forte decréscimo inicial nos primeiros 40 dias (cerca de 50%), seguiu-se uma fase, até Junho/95, em que o decréscimo de N foi muito lento, libertando-se rapidamente em seguida. Passado um ano a percentagem remanescente de N foi de 36% e ao fim de 27 meses o seu valor foi de 13%. O padrão de libertação do N apresentou uma correlação forte com a MO remanescente ($r^2=0,938$, $n=14$, $p<0,001$).

Nas hASC também ocorreu um decréscimo da proporção de N nos primeiros dois meses, baixando para 77%. Durante o ano seguinte, a quantidade de N remanescente decresceu e ao fim deste período restavam 56%. Passados 27 meses a proporção de N foi de

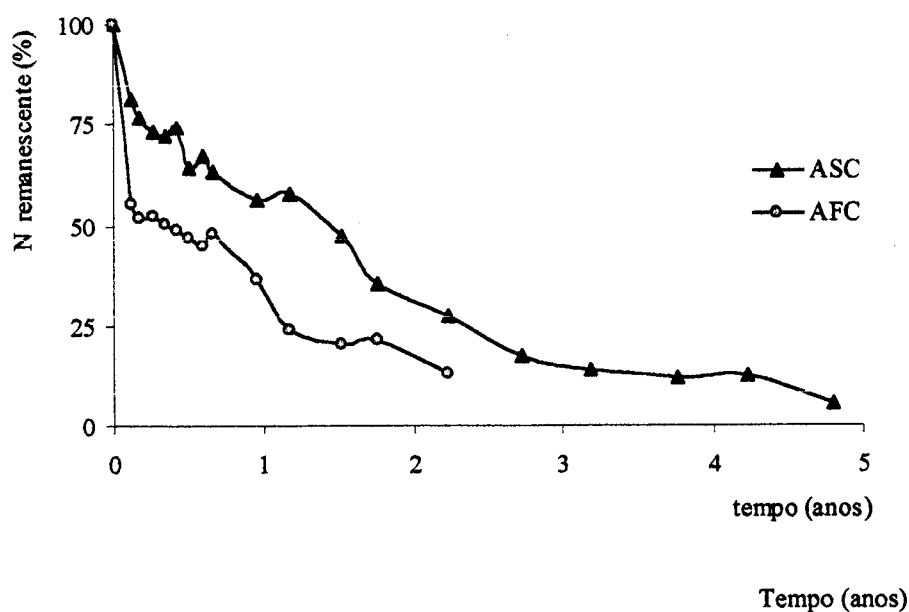


Figura 56. Proporção remanescente de N ao longo do processo de decomposição das herbáceas da área sob coberto (ASC) e da área fora do coberto (AFC).

28% e no final do estudo do processo de decomposição das hASC a proporção de N remanescente foi de 6%. Os processos de libertação do N e da decomposição da MO foram muito semelhantes ($r^2=0,977$, $n=19$, $p<0,001$).

Dado que as concentrações iniciais de N e as razões C/N das hASC e das hAFC eram semelhantes, as diferenças encontradas nos padrões de libertação de N, para os dois tipos de herbáceas, poderão ter por base diferenças na composição e modo de actuação da flora e fauna microbianas das áreas sob e fora da influência das copas.

No caso do Ca (Figura 57) as herbáceas a decompor também se comportaram de modo diferente, em especial durante a fase inicial. As hASC libertaram o Ca mais rapidamente numa fase inicial, perdendo 14% no primeiro mês, e passados três meses restavam 68%. Para as hAFC o decréscimo no primeiro mês foi inferior, cerca de 5%, aumentando a proporção de Ca para 103%, passados três meses. Finda esta fase inicial, a proporção de Ca decresceu para os dois tipos de herbáceas a decompor, e passado um ano o valor remanescente foi idêntico (46%). Durante o segundo ano de decomposição, a libertação do Ca foi semelhante para as hASC e as hAFC, apresentando no final deste período o mesmo valor residual de Ca (20%). As hASC terminaram o processo com apenas 2,5% da quantidade inicial de Ca.

O padrão de libertação do Ca correlacionou-se mais fortemente com a MO remanescente no processo das hASC ($r^2=0,987$, $n=19$, $p<0,001$) do que durante a decomposição das hAFC ($r^2=0,967$, $n=14$, $p<0,001$).

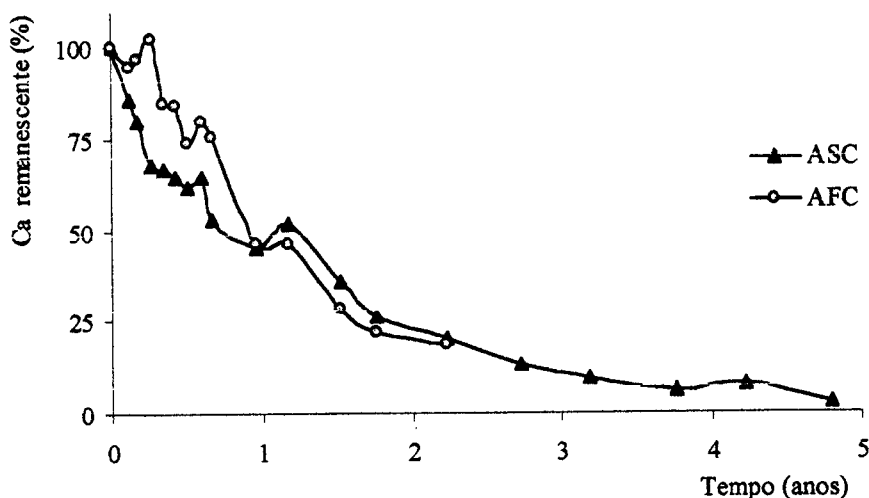


Figura 57. Proporção remanescente de Ca ao longo do processo de decomposição das herbáceas da área sob coberto (ASC) e da área fora do coberto (AFC).

Os padrões de libertação do N e do Ca foram muito semelhantes nas hASC ($r^2=0,990$, $n=19$, $p<0,001$), não se tendo verificado o mesmo para as hAFC ($r^2=0,835$, $n=14$, $p<0,001$).

A libertação do Ca durante o primeiro ano de estudo processou-se de modo distinto para os tipos de herbáceas. As diferentes concentrações iniciais de Ca nas herbáceas a decompor, superiores para as hASC, e, provavelmente, diferenças existentes na actividade microbiana das duas áreas de estudo, poderão estar na origem dos diferentes padrões de libertação do Ca.

O Mg libertou-se mais rapidamente nas hAFC que nas hASC (Figura 58), durante o primeiro mês as primeiras perderam 45% e as segundas 25% da quantidade inicial de Mg. Ao fim de cinco meses as proporções de Mg aproximavam-se, 53% para as hAFC e 59% para as hASC, mas findo um ano registaram valores muito diferentes, 23% nas hAFC e 42% nas hASC. Entre o 12º e o 18º mês ocorreu, em ambos os processos, um aumento de 30% na proporção de Mg do material a decompor. Passados 27 meses permaneciam 18% do Mg inicial nas hAFC e 31% nas hASC, e ao fim de cinco anos as hASC registavam apenas 6% do Mg inicial.

Os padrões de libertação do Mg e do N apresentaram uma correlação estreita, tanto para as hASC ($r^2=0,957$, $n=19$, $p<0,001$), como para as hAFC ($r^2=0,962$, $n=14$, $p<0,001$), tendo sido ligeiramente mais fraca a correlação entre o Mg e a MO remanescente - hASC ($r^2=0,942$, $n=19$, $p<0,001$) e hAFC ($r^2=0,903$, $n=14$, $p<0,001$).

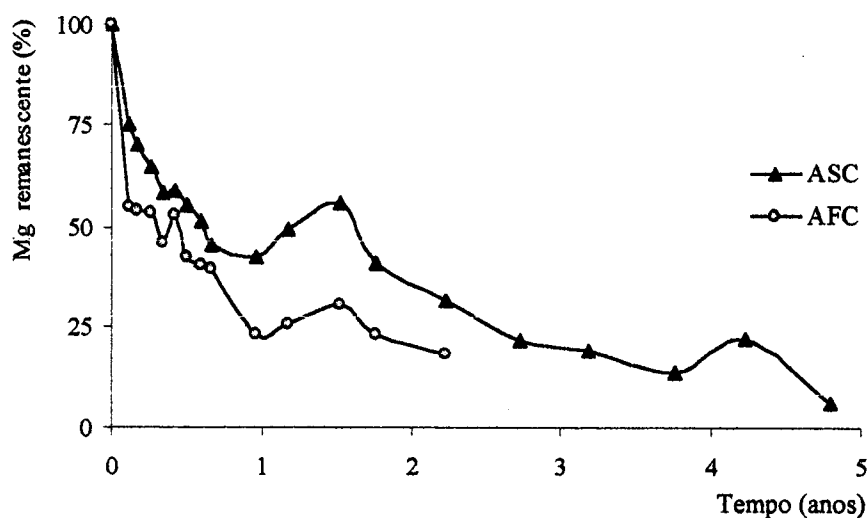


Figura 58. Proporção remanescente de Mg ao longo do processo de decomposição das herbáceas da área sob coberto (ASC) e da área fora do coberto (AFC).

A dinâmica de liberação do K (Figura 59) foi praticamente igual para os dois tipos de herbáceas a decompor e bastante distinta dos outros elementos. O K sofreu um decréscimo muito acentuado no 1º mês, restando 15% nas hASC e 17% nas hAFC, e ao fim do primeiro ano mantiveram apenas, respectivamente, 5% e 4% do K inicial. Passados 27 meses, as proporções de K para as hASC e para as hSFC foram idênticas, cerca de 3% para ambas. Ao fim de cinco anos de decomposição, ainda permaneciam 0,5% do K inicial, nas hASC.

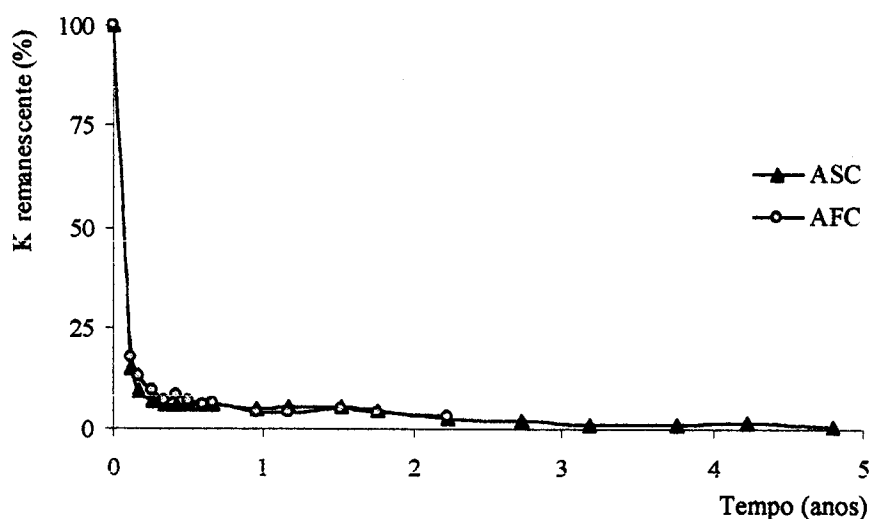


Figura 59. Proporção remanescente de K ao longo do processo de decomposição das herbáceas da área sob coberto (ASC) e da área fora do coberto (AFC).

O P também apresentou uma curva de liberação (Figura 60) muito semelhante para as hASC e as hAFC. Ocorreu um decréscimo acentuado do P durante o primeiro mês, cerca de 40%, em ambos os tipos de herbáceas, restando 18% (hAFC) e 28% (hASC) da quantidade inicial ao fim de um ano. Dois anos após o início da decomposição, as hAFC apresentavam 8% e as hASC 11% da quantidade inicial de P, tendo as últimas finalizado o processo de decomposição com apenas 1,4%.

Para as dois tipos de herbáceas a decompor, o padrão de liberação do P apresentou correlações fortes com os padrões de liberação do N – hASC ($r^2=0,915$, $n=19$, $p<0,001$) e hAFC ($r^2=0,969$, $n=14$, $p<0,001$) – do Mg – hASC ($r^2=0,940$, $n=19$, $p<0,001$) e hAFC ($r^2=0,980$, $n=14$, $p<0,001$) – e da decomposição da MO – hASC ($r^2=0,962$, $n=19$, $p<0,001$) e hAFC ($r^2=0,901$, $n=14$, $p<0,001$).

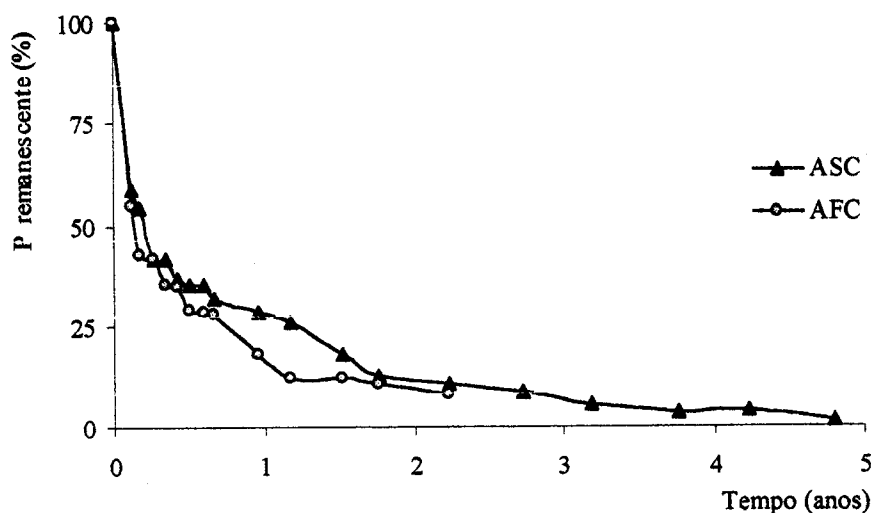


Figura 60. Proporção remanescente de P ao longo do processo de decomposição das herbáceas da área sob coberto (ASC) e da área fora do coberto (AFC).

O Mn apresentou um comportamento muito diferente dos outros elementos químicos, (Figura 61) imobilizando-se nos processos de decomposição dos dois tipos de herbáceas. Nas hASC a proporção de Mn aumentou muito, registrando 150% do seu valor inicial passados 5 meses. Nas hAFC, ocorreu um decréscimo, no primeiro mês, para 55% do valor inicial de Mn, subindo em seguida para 81% e mantendo valores acima dos 74% até ao 5º mês. Ao fim de um ano as hASC registavam 101% e as hAFC 33% e entre o 12º e o 18º mês ocorreu, em ambos os processos, um aumento da proporção de Mn, mais elevado no caso das hASC.

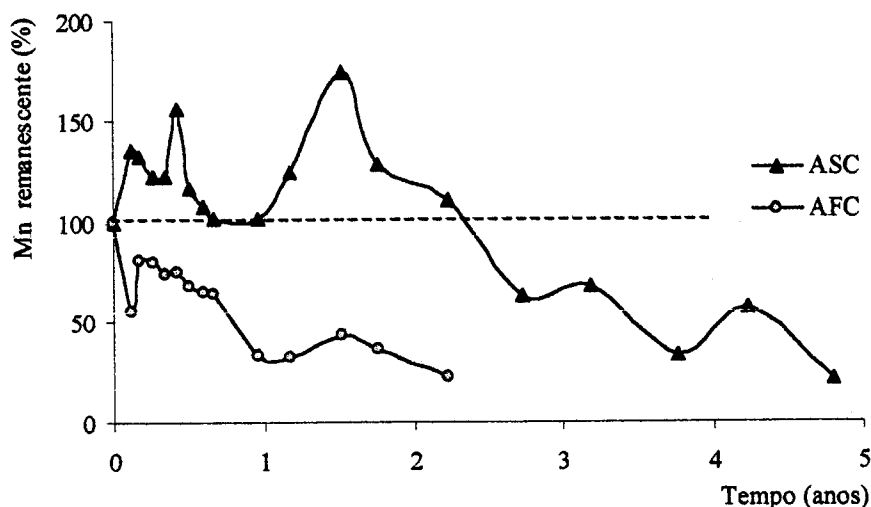


Figura 61. Proporção remanescente de Mn ao longo do processo de decomposição das herbáceas da área sob coberto (ASC) e da área fora do coberto (AFC).

Passados dois anos as hASC mantinham uma quantidade de Mn superior à inicial (110%) e as hAFC registavam apenas 22%. No fim de cinco anos a proporção de Mn remanescente nas hASC foi de 21%. Este elemento foi o que mais resistência ofereceu à mineralização, imobilizando-se durante 8 meses no caso das hAFC e 27 meses para as hASC.

Os padrões de libertação do Mn e do Mg, nas hAFC, apresentaram algumas semelhanças, correlacionando-se positivamente ($r^2=0,889$, $n=14$, $p<0,001$).

A razão C/N inicial era praticamente igual para hAFC (46,2) e as hASC (45,7), evoluindo de modo diferente nos dois casos. Nas hAFC a razão C/N aumentou inicialmente, devido ao forte decréscimo inicial da quantidade de N, muito superior ao decréscimo da MO (Figura 55), e três meses depois do início do processo de decomposição a razão C/N começou a baixar (Figura 62). Entre o 4º e o 7º mês e o 8º e o 18º mês do processo de decomposição a razão C/N quase não variou correspondendo a momentos em que a libertação de N e o decréscimo da MO se processavam a velocidades idênticas. A razão C/N não se correlacionou com a MO remanescente. No final do processo a razão C/N era de 33.

Nas hASC a razão C/N decresceu de 46 para 20, passado ano e meio, e no final do processo de decomposição o seu valor foi 11 (Figura 63). Durante os primeiros 18 meses o decréscimo da MO foi muito superior à libertação de N, durante o resto do processo a MO continuou a libertar-se mais rapidamente que o N, mas com uma diferença menos acentuada. A razão C/N correlacionou-se com a percentagem de MO remanescente ($r^2=0,974$, $n=19$, $0,01<p<0,05$).

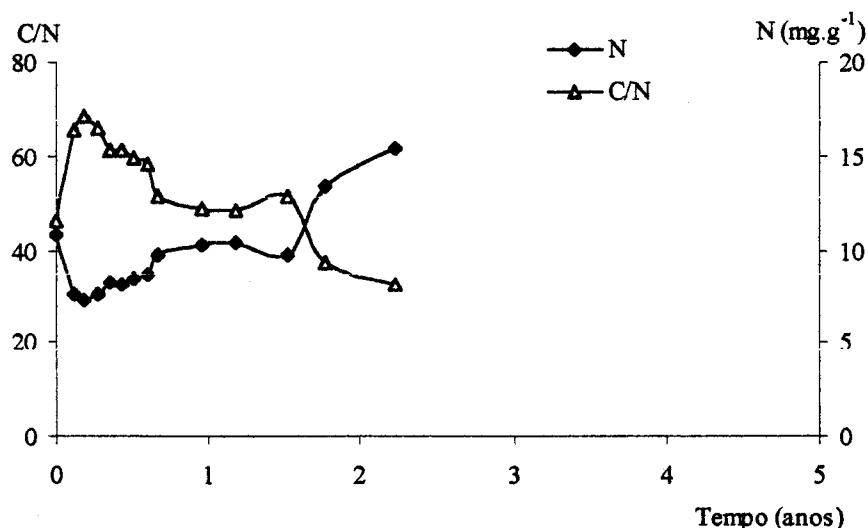


Figura 62. Concentração de N e razão C/N, na matéria orgânica das herbáceas da AFC em decomposição.

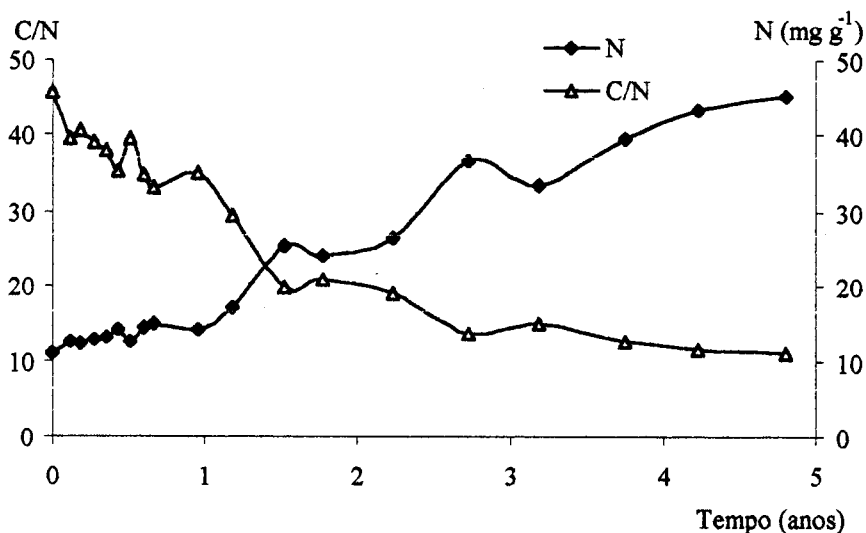


Figura 63. Concentração de N e razão C/N, na matéria orgânica das herbáceas da ASC em decomposição.

A razão C/P, das hAFC (311), aumentou nos dois primeiros meses (Figura 64), tal como a razão C/N, continuou a subir até ao 6º mês, oscilou até final do primeiro ano e começou a decrescer, finalizando com 358. A razão C/P também não se correlacionou com a percentagem de MO remanescente, indicando que a libertação da MO não ocorreu mais rapidamente do que a libertação de P.

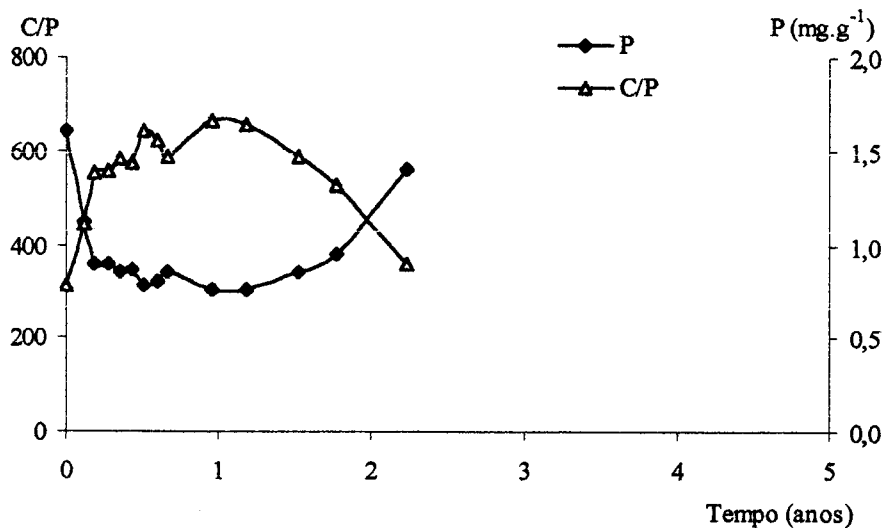


Figura 64. Concentração de P e razão C/P, na matéria orgânica das herbáceas da AFC em decomposição.

A razão C/P, das hASC, subiu nos primeiros seis meses de 227 para 356 (Figura 65), correspondendo a uma libertação mais rápida para o P do que para a MO. Na fase seguinte a concentração de P na MO aumentou e a razão C/P, passados 33 meses, foi de 138, oscilando até final do processo. Entre o 6º e o 33º mês a MO libertou-se mais rapidamente que o P, tendo sucedido o contrário no início e no terceiro ano do processo de decomposição. A correlação entre a C/P e percentagem de MO remanescente foi muito fraca, devido à irregularidade da libertação do P.

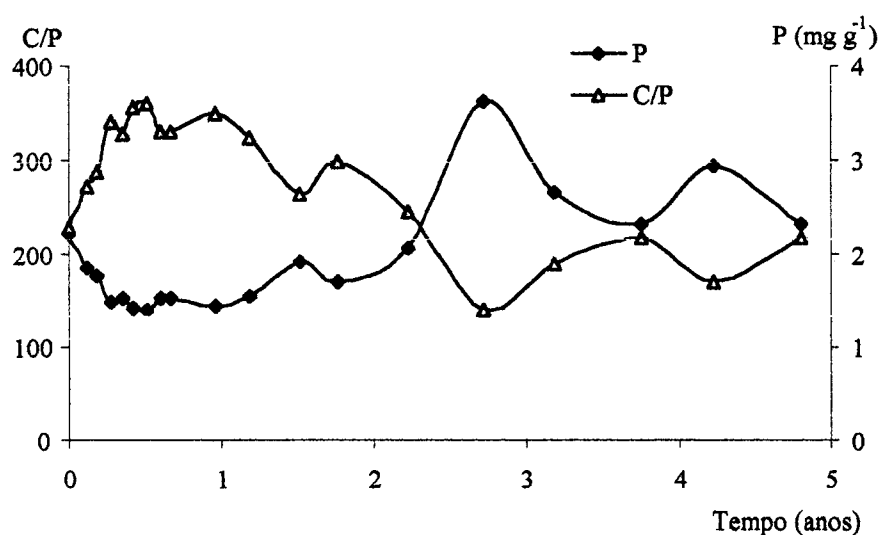


Figura 65. Concentração de P e razão C/P, na matéria orgânica das herbáceas da ASC em decomposição.

4.2.2. DISCUSSÃO

Composição florística

A vegetação herbácea, predominantemente constituída por espécies anuais, apresentou um padrão de crescimento próprio de plantas que completam o seu ciclo de vida em menos de doze meses. As sementes germinaram com as primeiras chuvas de Outono e as plântulas desenvolveram-se durante do Inverno. A vegetação herbácea atingiu o seu máximo vegetativo no início da Primavera e o máximo reprodutivo no final da Primavera, iniciando-se a senescência no começo do Verão.

As formações herbáceas do sudoeste da Península Ibérica, como é o caso da vegetação estudada, são caracterizadas pela participação massiva de espécies anuais (Joffre *et al.*, 1987). As plantas com um ciclo de vida curto, parecem possuir maiores capacidades de adaptação, face às irregularidades das condições ambientais (temperatura, pluviosidade) e às alterações induzidas pela acção humana (pastoreio, intervenções agrícolas, fogo).

As poucas espécies vivazes identificadas ocorreram fundamentalmente nas ASC, provavelmente devido às melhores condições hídricas (Figura 23) e nutricionais (Quadros 18 e 19) do solo das áreas sob copa. O elenco florístico dos cobertos herbáceos das ASC e das AFC foi praticamente idêntico, apenas quatro espécies foram exclusivas de um dos cobertos herbáceos (Quadro 4), variando a abundância das espécies entre a ASC e a AFC consoante as preferências ecológicas e capacidade de adaptação de cada uma.

Verificaram-se, no entanto, diferenças quantitativas entre os dois cobertos, tendo a percentagem de Dicotiledóneas nos cobertos das AFC sido superior à encontrada nos cobertos das ASC (Figura 29). O aumento da proporção de Dicotiledóneas nos cobertos herbáceos de prados e pastagens deve-se, segundo Tasser *et al.* (1999), ao empobrecimento do solo em nutrientes e matéria orgânica. Esta observação explicaria o predomínio das Monocotiledóneas nas ASC em relação às AFC, dado que nas primeiras o solo é mais rico em nutrientes e matéria orgânica.

Outra explicação para as diferentes proporções de Monocotiledóneas e Dicotiledóneas nos dois tipos de cobertos, poderá ser a falta de capacidade das primeiras, quase

exclusivamente gramíneas, para competirem com as segundas, nos locais mais ensolarados. A folhada de sobreiro existente no solo das ASC, também poderá ter inviabilizado algumas plântulas de Dicotiledóneas, incapazes que atravessar a camada de folhada com os seus dois cotilédones. Neste caso, as Monocotiledóneas possuem características, apenas uma primeira folha inicial, fina e aprumada, que as favorecem para germinarem e crescerem através da camada de resíduos orgânicos existente no solo das ASC.

A proporção de leguminosas nos cobertos estudados variou entre 13% e 16%, sendo estes valores inferiores aos que Sapinsky (2000) refere como ideais (cerca de 25% de leguminosas no mínimo) para uma pastagem. Segundo Cernusca (1996) a baixa percentagem de leguminosas (valores inferiores a 10%) nos cobertos herbáceos é causada pela deficiência de P no solo. No entanto, no presente estudo a proporção de leguminosas não foi superior nos cobertos das ASC, em que o teor de P no solo foi superior ao verificado para as AFC.

Além das diferenças salientadas ocorreram variações inter-anuais entre os cobertos de herbáceas das ASC e das AFC. A composição florística sofreu alterações mais profundas em 1996, tendo as Dicotiledóneas representado uma fracção muito superior do coberto herbáceo, em relação aos outros anos considerados; no entanto, não se verificaram diferenças no teor de nutrientes do solo entre 1995 e 1996 (ponto 4.1.1.4.3.). Nas ASC, de 1994 a 1996, a proporção de Monocotiledóneas decresceu, em parte devido à diminuição do seu valor absoluto, mas também pelo aumento de produção das Dicotiledóneas. Nas AFC registou-se uma variação idêntica, mas ocasionada pela maior fitomassa de Dicotiledóneas, de ano para ano. Admite-se, que nos anos de menor disponibilidade hídrica as Monocotiledóneas tiveram mais possibilidades de se expandir e que no ano de maior pluviosidade não conseguiram competir com as Dicotiledóneas. Segundo Fernández-Alés *et al.* (1993), algumas sementes de Dicotiledóneas mediterrânicas apenas germinam em anos de grande pluviosidade influenciando, quer a composição florística, quer a fitomassa dos cobertos. Por fim, não será de desprezar o facto de se terem protegido as áreas de amostragem, evitando que as herbáceas fossem consumidas por herbívoros. Assim, algumas plantas que certamente pereceriam antes de finalizarem o seu ciclo de vida, sobreviveram e formaram sementes que germinaram no ano seguinte, explicando-se deste modo o aumento da proporção de Dicotiledóneas de 1994 a 1996.

Fitomassa aérea

Apesar das melhores condições hídricas (Figura 23) e nutricionais (Quadros 18 e 19) do solo sob as copas, a produtividade das herbáceas que cresciam nas áreas fora da influência das copas de sobreiro foi sempre superior, em todos os anos estudados, à das herbáceas que se desenvolveram sob as copas. A elevada percentagem de interceptação da radiação pelas copas dos sobreiros (Quadro 20) deverá ter sido um dos motivos que ocasionaram as diferentes produtividades das herbáceas das ASC e AFC.

Os valores médios da produtividade das herbáceas das AFC estão de acordo com os observados por Leiva & Fernández-Alés (2000) para um prado de composição mista (Monocotiledóneas e Dicotiledóneas), tendo os valores da fitomassa sido superiores no presente trabalho em relação aos referidos por Zeller *et al.* (2000) para um prado em montado de azinho. Joffre *et al.* (1986), em estudos efectuados em prados de fertilidade média na Andaluzia Ocidental, obtiveram produções anuais da fitomassa aérea entre 233 g m⁻² e 516 g m⁻², valores ligeiramente inferiores aos obtidos no presente estudo. Fernández-Alés & Leiva (1992) referem valores de produtividade em prados da Serra Morena (Andaluzia) entre 448 g m⁻² (solos pouco férteis) e 1367 g m⁻² (solos férteis); encontrando-se estas produções mais próximas das observadas neste estudo.

Os maiores valores de produtividade das herbáceas, registados em 1996 para as duas áreas, ficaram a dever-se, em grande parte, ao maior investimento das plantas na produção de órgãos vegetativos, tendo este facto sido mais acentuado nas herbáceas das ASC.

A produtividade das herbáceas em 1996 foi muito superior à dos outros anos, tanto na ASC como na AFC, estando provavelmente relacionada com a quantidade de água disponível para as plantas. A pluviosidade ocorrida entre Outubro 1995 e Fevereiro de 1996 atingiu 826 mm, enquanto no mesmo período dos anos anteriores somou 434 mm (93/94) e 281 mm (94/95). Em cada tipo de coberto, nos três anos de estudo, excepto a AFC em 1994, a biomassa produzida até MarçoII foi idêntica. A partir dessa data a vegetação herbácea evoluiu de modo diferente, desenvolvendo-se muito mais em 1996. As precipitações de Março-Abril-Maio (50,6 mm, 33,6 mm, 115,8 mm) em 1996 foram muito superiores às de 1994 (5,1 mm, 22 mm, 113,7 mm) e 1995 (24,1 mm, 21,7 mm, 15,4 mm), devendo estar na origem do maior crescimento ocorrido a partir de MarçoII de 1996, em ambos os cobertos.

A produtividade das ASC variou directamente com a quantidade de precipitação ocorrida entre Outubro e Fevereiro, tendo sido 1995 o ano menos produtivo e 1996 o ano em que se registou a maior produção. Nas AFC a produtividade aumentou de 1994 a 1996, parecendo ter sido mais influenciada pela quantidade de precipitação caída em Março.

Em 1995 a vegetação entrou em senescência uma quinzena antes dos outros dois anos, provavelmente porque o período seco referente a esse ano (Março-Outubro) se iniciou antes e foi mais prolongado do que nos anos anteriores (1994 – Março-Abril e Junho-Setembro, 1995 Junho-Setembro). Este período seco mais extenso explica-se pela menor precipitação na Primavera de 1995, como se referiu anteriormente, e pelas temperaturas médias do ar registadas de Março a Maio (15,6 °C, 18,1 °C, 21, 6°C) que foram um pouco mais elevadas do que a média de 30 anos. O valor da precipitação do mês de Maio em 1995 (15,4 mm) foi excepcionalmente baixo, em relação aos valores dos outros dois anos e à média de 30 anos (42,9 mm) para este mês, o que também deverá ter contribuído para o acelerar do ciclo das herbáceas e provocar a sua senescência precoce. A temperatura à superfície do solo, entre Março e Maio foi, em média, mais elevada em 1995 (19,4 °C) do que em 1994 (17 °C) e 1996 (17,7 °C). Os valores da humidade do solo no início da Primavera (Quadro 17) também foram mais baixos em 1995 do que nos outros dois anos. Entre a segunda quinzena de Março e a primeira de Abril os teores médios de água no solo nas ASC, de 1994 a 1996, foram respectivamente de 7,0%, 6,2% e 16,9%; nas AFC os valores foram de 4,7%, 2,8% e 7,0%. Assim sendo, a disponibilidade hídrica parece condicionar quer a produtividade inter-anual dentro de cada coberto estudado, quer a duração do ciclo de vida das herbáceas. Fernández-Alés *et al.* (1993) também constataram variações na produtividade de herbáceas, entre anos secos e anos húmidos, chegando a fitomassa a duplicar de um ano seco para um ano húmido.

A maior disponibilidade hídrica em 1996 esteve de certo na origem da grande produção de biomassa para esse ano, em especial de folhas. A baixa pluviosidade, registada em 1995, acompanhada das temperaturas acima da média para este ano, contribuiu certamente para o encurtamento do ciclo das plantas anuais, constituindo uma estratégia face a condições adversas. Piper (1995), em 6 anos de estudos de comunidades herbáceas no Kansas (EUA), encontrou diferenças significativas entre a produção em anos com precipitações acima da média e anos secos, afirmando que a precipitação anual é um dos factores de maior variabilidade da produção anual em prados e pastagens.

Na época de maior desenvolvimento da vegetação herbácea, existiram diferenças na proporção de necromassa entre os cobertos das duas áreas, com valores superiores para a AFC. A biomassa foliar apresentou valores idênticos para os dois cobertos, por conseguinte, o peso das folhas verdes foi proporcionalmente superior nos cobertos herbáceos das ASC. As folhas dos cobertos das ASC evidenciaram uma maior relação área/peso, ou seja, foram menos espessas, do que as dos cobertos das AFC.

Existiu uma forte interdependência entre os descritores da vegetação herbácea, apenas os pesos e a áreas foram parâmetros verdadeiramente independentes. Os índices que relacionam pesos secos, percentagem de frutos e espessura de folhas verdes foram todos superiores para as AFC. Os índices que correlacionaram áreas com pesos, os que se referiram a percentagem de folhas no coberto e teores de água na fitomassa foram superiores para as ASC. Por exemplo, os valores da área específica das folhas (SLA) foram em média de 1,24 para as AFC e de 1,90 para as ASC. Segundo Pierce *et al.* (1994) as espécies que crescem em ambientes em que a água é um factor limitante têm tendência para apresentar valores de SLA mais baixos. Fliervoet (1987) sugere que a restrição de água e nutrientes pode levar à produção de folhas mais pequenas e mais espessas, como estratégia para conservação de água.

A percentagem de cobertura das ASC foi inferior à das AFC, apresentando as herbáceas das ASC um aspecto estiolado, maior crescimento inter-nodal, índices de área mais elevados e maior percentagem de água nas suas células. Todas estas características sugerem que as herbáceas das ASC não receberam a quantidade de radiação necessária para se desenvolverem equilibradamente, recorrendo ao aumento da área das suas estruturas fotossinteticamente activas (caules e folhas) para maximizarem a produção de energia, em detrimento do investimento em estruturas de suporte.

Cernusca *et al.* (1992) baseados num estudo efectuado nos Alpes italianos, concluíram que as espécies herbáceas que crescem sob a copa de *Fagus sp.* e *Larix sp.* apresentaram características de “plantas de sombra”, com uma distribuição mais esparsa, menor cobertura do solo e menor produtividade do que aquelas que se desenvolvem fora da influência das copas, coincidindo estas observações com os resultados obtidos no presente trabalho para as herbáceas que crescem sob a copa de sobreiros.

A percentagem de folhas por coberto aumentou de 1994 a 1996, tanto nas ASC como nas AFC. O grau de esclerofilia das folhas, inverso da área específica das folhas, diminuiu de 1994 para 1996 em ambos os cobertos, indicando que nos anos mais secos, 1994 e 1995, se

produziram folhas mais espessas que no ano mais húmido (1996). O teor de água nas folhas variou no sentido inverso, apresentando o valor máximo no ano de 1996. Como foi referido, a Primavera de 1996 foi mais chuvosa do que a dos anos anteriores e os teores de água no solo também foram superiores nesse ano. Dado que as espécies dominantes foram as mesmas em cada ano, elas terão a capacidade de se adaptar a novas condições, neste caso maior disponibilidade hídrica, produzindo mais folhas, menos espessas e com um teor de água superior, invertendo-se esta tendência nos anos mais secos. Estas diferenças inter-anuais foram semelhantes às que se observaram entre as herbáceas das ASC e das AFC em cada ano.

Fitomassa subterrânea

As herbáceas da ASC apresentaram menor produção de fitomassa radical que as da AFC, em todos os anos de estudo, à semelhança do ocorrido para a fitomassa aérea.

O padrão de crescimento da fitomassa subterrânea foi semelhante ao da fitomassa aérea, aumentando sempre a produtividade ao longo dos anos de estudo, para os dois cobertos, no entanto, não se registaram diferenças significativas entre as produções anuais de cada coberto, diferindo as ASC das AFC, nos três anos de estudo. Provavelmente, o crescimento das raízes não terá sido tão influenciado pelos factores climáticos, como o desenvolvimento da parte aérea. A época de fitomassa máxima foi cerca de uma quinzena antes do máximo verificado para a fitomassa aérea, apontando para um crescimento anterior das raízes em relação à parte aérea. A fitomassa radical das herbáceas concentrou-se no estrato de 0-5 cm, tanto na ASC como na AFC, como também referem Joffre *et al.* (1987), representando este estrato, em média, 71% da fitomassa subterrânea total. A fraca espessura do solo e os numerosos afloramentos rochosos sugerem que a grande maioria das raízes das herbáceas não atingiu profundidades muito superiores aos 20 cm, apresentando as raízes uma distribuição preferencialmente superficial. O facto de se terem registado na camada superficial, em ambas as áreas, as concentrações mais elevadas de nutrientes (Quadros 18 e 19) e a maior capacidade para retenção de água (Figuras 23 e 24) poderá explicar a concentração da maioria das raízes nos primeiros 5 cm de solo.

A fitomassa radical das herbáceas foi sempre superior nas AFC, tendo a razão fitomassa aérea/ fitomassa subterrânea (FA/FS) registado valores entre 2,5 e 3,57. Esta razão foi mais elevada nas ASC, com valores entre 2,94 e 3,85. Isto significa que o investimento da vegetação herbácea foi mais dirigido para a fitomassa aérea que para a subterrânea, tendo sido este aspecto mais flagrante nas ASC, em que as concentrações em nutrientes e os teores de água do solo foram superiores aos das AFC. Outros trabalhos efectuados em espécies herbáceas em climas temperados apontam para uma razão FA/FS inferior a 1 (Coupland, 1979; Singh & Colemam, 1974; Fiala & Studený, 1987); Joffre *et al.* (1987), em trabalhos realizados na Andaluzia em *Vulpia spp.*, encontrou uma razão FA/FS igual a 0,5 e Mahboubi (1980), em condições de clima mediterrânico, registou valores entre 0,26 e 0,67 em estudos efectuados em várias gramíneas. Jackson & Roy (1986) e Garnier (1992) em estudos efectuados em áreas de clima mediterrânico obtiveram razões FA/FS superiores à unidade. Outros autores, que realizaram trabalhos em zonas de clima temperado, referem razões FA/FS para *Festuca ovina* e *Carex flacca* de 1,5 e 2,3 (Simon, 1992), respectivamente, e valores entre 3,4-2,5 para *Medicago sp.*, entre 3,6-1,7 para *Trifolium sp.* e entre 5,5-3,8 para *Hordeum sp.*, correspondendo os valores mais baixos de cada intervalo a razões FA/FS obtidas para plantas sujeitas a rega (Bray, 1963).

Davidson (1969) sugeriu uma explicação para estas diferenças de valores, a partir de uma experiência que efectuou com *Trifolium repens* L. e *Lolium perenne* L., com base no regime hídrico e na disponibilidade de nutrientes no solo. Assim “a relação FA/FS será mais elevada se o N, o P e a água no solo não forem factores limitantes, e mais baixa se existir insuficiência destes factores”. Jameson (1963) e Van der Maarel & Titlyanova (1989) sugerem que o abandono dos prados e o pastoreio intensivo têm uma acção inibidora no desenvolvimento radical. Ficher & Turner (1978) afirmam que a menor ou maior razão FA/FS se prende com facto das espécies serem perenes ou anuais, respectivamente. Segundo estes autores as plantas anuais de climas secos acumulariam os seus produtos assimilados não nas raízes ou rizoma, como as herbáceas perenes, mas nas sementes, oscilando a razão FA/FS entre 10 e 1, consoante a disponibilidade de água no solo fosse elevada ou baixa.

Os valores da fitomassa radical e a razão FA/FA obtidos no presente trabalho estão de acordo com algumas das observações explicitadas nos estudos acima citados, sendo possível relacionar os valores obtidos com outros factores. Possivelmente, as razões FA/FS de um coberto de herbáceas estarão mais relacionadas com a composição florística do mesmo, que

com determinadas condições do solo, podendo estas condições influenciar o maior ou menor grau de investimento das plantas na sua fitomassa subterrânea, apenas num intervalo de valores pré-determinado pelas características genéticas de cada espécie. Talvez o facto de se ter protegido a vegetação do pastoreio, quer de animais domésticos, quer da fauna existente no montado, tenha provocado um aumento do investimento das plantas na fitomassa aérea, não sucedendo o mesmo para a fitomassa subterrânea, que se manteve quase constante, ao longo dos anos, em cada coberto. Coughenour (1991) verificou, num estudo efectuado em áreas de estepe, que o pastoreio reduzia a fitomassa aérea sem afectar a fitomassa subterrânea, ocasionando a diminuição da razão FA/FS.

Os comprimentos radicais apresentaram uma boa correlação com a biomassa radical, tendo sido esta relação inferior para o estrato 0-5 cm da AFC em relação ao estrato 0-5 cm da ASC, apresentando os estratos de 5-20 cm dos cobertos a relação mais elevada. As razões destas diferenças poderão residir na composição florística, mais Dicotiledóneas nas AFC que nas ASC, e na estratificação radical, encontrando-se as raízes de maior diâmetro nas camadas mais superficiais.

Os valores obtidos para os comprimentos radicais por área, foram inferiores aos referidos por Joffre *et al.* (1987) para *Vulpia spp.* e semelhantes aos obtidos por Mahboubi (1980) para *Dactylis glomerata* L.. As razões comprimento radical/ biomassa radical encontradas foram inferiores às referidas por Joffre *et al.* (1987) para *Vulpia spp.* e Svejcar & Boutton (1985) para *Bromus tectorum* L., indicando que os cobertos analisados no presente trabalho possuem em média raízes mais densas e/ou mais espessas.

A densidade de enraizamento foi muito superior na camada 0-5 cm, em relação às camadas mais profundas, existindo nesta camada de solo mais superficial condições hídricas e nutricionais mais favoráveis àquelas que se situaram abaixo dos 5 cm, tanto nas ASC como nas AFC. A maior disponibilidade de água e nutrientes deverá ter condicionado a extensão dos sistemas radicais, que nas ASC se concentraram na camada 0-5 cm (80%), diminuindo na de 5-10 cm (16%) e apresentando um valor muito baixo na camada de 10-20 cm (4%). Nas AFC, em que o solo era menos rico em nutrientes e água disponível, os sistemas radicais estenderam-se mais em profundidade, tendo sido as percentagens de enraizamento das três camadas estudadas de 63%, 28% e 9%.

Estrutura vertical da fitomassa

As estruturas verticais dos cobertos herbáceos das AFC e das ASC apresentaram características semelhantes, concentrando-se a fitomassa aérea na metade inferior do coberto, decrescendo da base para o topo. Nas ASC o estrato de maior fitomassa foi sempre o mais próximo do solo e a estrutura vertical apresentou uma forma de pirâmide quadrangular, em que os frutos predominaram no topo e a necromassa na base. Nas herbáceas da AFC, a estrutura assemelhou-se mais a um poliedro, pois os estratos entre 10 a 25 cm apresentaram uma fracção importante da fitomassa, mais elevada que os estratos subjacentes, por vezes o estrato de 0-5 cm também apresentou uma grande quantidade de fitomassa.

A distribuição da fitomassa em pirâmide, apresentando os estratos mais próximos do solo uma elevada percentagem da fitomassa total, deverá estar relacionada com o tipo de uso destes cobertos herbáceos, habitualmente sujeitos a pastoreio. Cernusca *et al.* (1978) e Cernusca & Nachuzrišvili (1983), em estudos efectuados em pastagens alpinas, também observaram uma acumulação da fitomassa de herbáceas nos estratos inferiores dos cobertos, interpretando-a como protecção contra o pastoreio excessivo. A localização das estruturas fotossinteticamente activas dos cobertos herbáceos (folhas e caules) nos estratos mais próximos do solo poderá constituir uma estratégia de sobrevivência, uma vez que o gado ingere preferencialmente as partes superiores das plantas, constituídas maioritariamente por estruturas reprodutoras. Por sua vez, os animais que se alimentam nestas pastagens poderão ter um papel importante na disseminação de sementes, dado que os rebanhos percorrem uma extensa área enquanto se alimentam.

Segundo Margalef (1974), quando uma perturbação ocorre regularmente e durante um longo período de tempo, as populações vegetais podem desenvolver estratégias que possibilitem a sua sobrevivência, existindo múltiplos exemplos de adaptação a condições permanente ou periodicamente desfavoráveis. Deste modo, a estrutura vertical adoptada pelos cobertos herbáceos, em que a maior parte da vegetação se concentra próximo do solo, poderá ser uma adaptação quer ao pastoreio, quer à escassez hídrica.

O facto de os cobertos das ASC possuírem maior proporção de estruturas fotossinteticamente activas entre os 0-15 cm (entre metade e dois terços do total) do que os cobertos das AFC (entre um terço e metade do total) poderá ser explicado pela preferência dos

rebanhos em descansar nas áreas sob a influência das copas, danificando a vegetação existente nessa área.

A configuração das estruturas verticais foi semelhante às descritas por Sapinsky (2001) e Tappeiner & Cernusca (1989) para prados e pastagens de composição mista. Os valores da necromassa corresponderam a uma proporção apreciável da fitomassa (em média, 27% nas AFC e 21% nas ASC), sendo estes valores semelhantes aos obtidos por Sapinsky (2001) para pastagens de uso intensivo e extensivo e inferiores aos referidos por Sapinsky (2001) para prados abandonados e por Cernusca *et al.* (1992) para prados de forragens (cerca de 40%). Esta situação explica-se pelo facto das áreas de estudo, apesar de terem sido vedadas no Outono anterior ao início das amostragens, serem zonas habituais de pastagem de gado caprino. A percentagem de necromassa existente em cada um dos cobertos não foi elevada, pois entre cada ano de estudo as estruturas de protecção da vegetação herbácea foram removidas durante o Verão, permitindo o livre acesso a estas áreas.

Tal como sucedeu nas épocas de desenvolvimento máximo da vegetação herbácea, os cobertos das ASC registaram valores de fitomassa inferiores e índices de área superiores aos das AFC. A proporção de folhas verdes foi igualmente superior nos cobertos das ASC, representando os órgãos reprodutores uma percentagem mais elevada nas AFC. As diferenças encontradas entre os dois cobertos reflectem um investimento superior em órgãos fotossinteticamente activos, tanto em biomassa como em área, por parte das herbáceas das ASC, certamente uma forma de superar a deficiente quantidade de radiação a que estiveram sujeitas. Já as herbáceas das AFC investiram preferencialmente na produção de sementes e de estruturas de suporte, devido à menor disponibilidade hídrica das áreas fora da influência das copas.

Orientação das folhas

Os cobertos podem classificar-se, quanto à disposição dos ângulos foliares, como intermédios entre a distribuição planófila e a distribuição erectófila, ou seja, nas camadas mais inferiores as folhas encontravam-se dispostas, na sua maioria, quase horizontalmente (16 ° AFC e 19 ° ASC), nos estratos intermédios com uma inclinação de cerca de 70 ° (nas ASC e nas AFC), ocupando as folhas das camadas superiores uma posição quase vertical (83 ° AFC

e 84 ° ASC). Tappeiner & Cernusca (1989, 1998) e Sapinsky (2001) também observaram esta disposição dos ângulos foliares nos cobertos herbáceos de prados e pastagens de uso extensivo no Cáucaso Central e no Tirol.

O ângulo foliar médio dos cobertos herbáceos foi de 46 °, tanto para as AFC como para as ASC, devido à grande quantidade de área foliar dos estratos inferiores dos cobertos. Estes valores foram semelhantes aos obtidos por Ballarin (1995) e Tappeiner & Cernusca (1989, 1998) para prados e pastagens de regiões montanhosas (Pirinéus e Alpes).

O facto de as folhas das camadas mais altas do coberto se disporem preferencialmente na vertical, permite que a radiação penetre no interior do coberto, atingindo as camadas mais inferiores, possibilitando a existência de actividade fotossintética mesmo junto do solo (Kuroiwa, 1970).

Intercepção da radiação fotossinteticamente activa

A extinção da radiação fotossinteticamente activa (PAR) relacionou-se de modo diverso com as áreas estruturais dos cobertos herbáceos das ASC e das AFC. A maior percentagem da PAR extinguiu-se nas camadas mais inferiores do coberto, onde se registaram os valores mais elevados de fitomassa e dos índices de área, e onde os ângulos foliares tenderam a ser mais horizontais, especialmente pelo predomínio de Dicotiledóneas. Tal facto também foi verificado por Caldwell *et al.* (1983), Tappeiner (1985) e Tappeiner & Cernusca (1989).

Nos cobertos estudados em 1994 foram as áreas totais acumuladas (PAI) que melhor explicaram a extinção da PAR, tanto na ASC como na AFC, devido ao elevado volume de necromassa (cerca de 25%) existente nesses cobertos e aos baixos índices de área das estruturas fotossinteticamente activas (LAI e GAI) (Figura 40). Nos casos descritos anteriormente houve um mau aproveitamento da PAR, uma vez que apenas 50% da PAR incidente foi absorvida por componentes fotossinteticamente activos (folhas e caules), tendo os restantes 50% sido absorvidos por necromassa e estruturas reprodutoras. Segundo Sapinsky (2001), a absorção da radiação por estruturas não fotossintéticas diminui as taxas de fotossíntese dos cobertos e obviamente a sua produtividade.

Nos cobertos estudados em 1995, as estruturas fotossinteticamente activas (predominantemente caules) absorveram entre 55% a 65% da PAR, tendo os valores do GAI acumulado apresentado a melhor correlação com a extinção da PAR, tanto na ASC como na AFC, ao longo do coberto. Os valores do GAI e LAI destes cobertos, que foram muito superiores aos registados no ano anterior (Figura 41), indicam um melhor uso da radiação PAR em relação aos cobertos estudados em 1994.

Apesar de em cada ano os valores do LAI e do GAI terem sido superiores para os cobertos das ASC em relação aos cobertos das AFC (Figuras 40 e 41), não é certo que aqueles tenham sido mais eficientes no uso da PAR que estes. Larcher (1995) salienta que as folhas finas e enroladas, como as das gramíneas, e os caules “verdes” não são tão eficientes na produção de energia como as folhas que possuem um limbo mais largo, uma vez que a diminuição da superfície assimiladora acarreta uma menor captação da radiação incidente. Verificou-se que nos cobertos estudados em 1995, a maioria das estruturas “verdes” que interceptaram grande parte da PAR foram caules. Por outro lado, as plantas que se desenvolvem em ambientes ensombrados e apresentam características de “plantas de sombra”, como é o caso das herbáceas das ASC (ver página 169), têm as suas capacidades fotossintética e respiratória diminuídas para 50% ou 30% (Larcher, 1995) das capacidades evidenciadas por herbáceas que vivem em zonas ensolaradas.

Em 1996, para ambos os cobertos, o índice de área que melhor explicou a extinção da PAR foi o LAI, devido ao elevado volume de folhas verdes presentes nos dois cobertos que absorveram cerca de 70% da PAR incidente, tendo o total das estruturas fotossinteticamente activas absorvido cerca de 80% da PAR. Em 1996, contrariamente aos anos anteriores, houve um bom aproveitamento da radiação, interceptando as folhas “verdes” uma fracção muito significativa da PAR, tendo o coberto da ASC e o da AFC sido os mais produtivos dos três anos estudados.

A percentagem da PAR que atingiu o solo, em 1994 e 1995, nos cobertos das ASC (16% e 20%) e nos cobertos das AFC (19% e 31%) foi elevada e segundo Herbert (1991) e Sassenrath-Cole (1995) este facto é indiciador de uma alta taxa fotossintética dos cobertos. No entanto, a maior parte da radiação foi absorvida quer por estruturas não fotossinteticamente activas (nas AFC), quer por estruturas fotossinteticamente activas (nas ASC), mas por uma percentagem muito baixa de folhas “verdes”. Em 1996 a proporção da

PAR que atingiu o solo foi muito inferior (8% nas ASC e 10% nas AFC); tendo sido mais eficiente a absorção da radiação que foi efectuada essencialmente por folhas “verdes”.

A percentagem de luz reflectida foi superior nas ASC, excepto em 1996 em que os cobertos apresentaram valores semelhantes (Figuras 47 e 48). A menor cobertura do solo das ASC, em especial em 1994 e 1995, será certamente a causa das diferenças observadas nos primeiros anos. Em 1996, devido à grande produção de fitomassa, muito superior à dos outros anos, a quantidade de luz reflectida nas ASC diminuiu mais de 50%. Tappeiner (1985) também observou que, para idênticas condições de radiação, a percentagem de luz reflectida diminuía com o aumento do LAI do coberto. As diferenças existentes entre os dois tipos de cobertos, nos valores de radiação reflectida, deverão estar relacionadas com a qualidade da radiação que atinge os dois cobertos, uma grande percentagem da radiação que atinge as ASC é luz difusa. Comparando os valores da PAR reflectida nos dois cobertos, em valor absoluto, verifica-se que a quantidade de radiação que os cobertos das ASC reflectiram foram cerca de metade a um terço dos valores registados para os cobertos das AFC, apresentando os cobertos das ASC valores de LAI superiores (Figuras 40 a 42).

A quantidade de radiação difusa que atingiu o solo foi muito elevada para os cobertos estudados em 1994 e 1995, entre 28% e 38%, baixando em 1996 para 8% e 16%. Segundo Warren (1967) o facto de os valores da radiação difusa apresentarem percentagens elevadas nos estratos mais próximos do solo deve-se ao aumento da reflexão da luz nos estratos inferiores. O perfil de extinção da radiação difusa leva a que os valores de k sejam geralmente mais baixos que os obtidos para a radiação directa (Davison & Philips, 1958). Esta diferença nos valores de k obtidos para radiação directa e difusa verificou-se para os cobertos das AFC; no entanto, estas diferenças foram muito menores para os cobertos das ASC. Os perfis de extinção da PAR directa das ASC assemelharam-se muito aos perfis de extinção da PAR difusa. De facto, grande parte da PAR que atingiu os cobertos das ASC foi luz difusa, devido à interceptação, cerca de 80% da PAR incidente, pela copa dos sobreiros.

Considerando que o índice de compensação luminosa para fixação do CO_2 é de $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Nobel *et al.*, 1993), poder-se-ia deduzir que nas AFC a radiação não é um factor limitante para o desenvolvimento da comunidade herbácea. Por exemplo, nas AFC atingiram o solo 69, 63 e $21 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em condições de luz difusa, que corresponderá aproximadamente a um dia enevoadado. A situação é diferente para as ASC, em que a quantidade de luz difusa que atingiu o solo, nos três anos de estudo, foi de 18, 15 e

$6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, valores muito próximos do índice de compensação. Tendo em conta que, num ano ocorrem em média 186 dias de céu nublado a 80% (Reis & Gonçalves, 1987), parece muito provável que as ASC não recebam a quantidade de radiação suficiente para manterem uma taxa fotossintética elevada, afectando por conseguinte a sua produtividade.

A radiação PAR que atinge os cobertos das ASC é constituída por uma grande parte de luz difusa e provavelmente por uma grande percentagem de comprimentos de onda correspondentes à luz verde, reflectidos pelas copas dos sobreiros. Assim, mesmo atingindo o solo das ASC, em cada ano de estudo, 48, 38 e $25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a qualidade da radiação poderá ser fraca, em termos de uso fotossintético, não permitindo que as herbáceas existentes nas ASC tenham altos rendimentos fotossintéticos, não sendo por isso tão produtivas como as herbáceas das AFC.

Composição química da fitomassa aérea

As herbáceas das ASC apresentaram concentrações de N, de P, de K, de Ca, de Mg e de Mn superiores aos das AFC, em todos os anos de estudo (Quadro 26). Na região de Trás-os-Montes, Baltazar *et al.* (1983) verificaram uma situação similar, em que as herbáceas que cresciam em zonas sob a copa de azinheiras possuíam concentrações de N, K e Mn superiores, e significativamente diferentes, das herbáceas que se desenvolviam em áreas fora da influência das copas. As disponibilidades hídricas (Figura 23) e nutricionais (Quadros 18 e 19), superiores para os solos sob as copas de sobreiro, deverão estar na origem das diferenças encontradas na composição química dos dois cobertos.

A análise química das herbáceas das ASC e AFC revelou serem o N e o K os nutrientes melhor representados em quase todos os componentes da fitomassa, predominando nos órgãos fotossinteticamente activos (folhas e caules). O N apresentou concentrações mais elevadas nas folhas e o K nos caules. Os restantes nutrientes analisados nas herbáceas dos dois cobertos apresentam-se por ordem decrescente das suas concentrações: Ca, Mg, P e Mn.

O N, o K e o P registaram concentrações muito superiores na biomassa em relação à necromassa (Figuras 49 e 50); o que pressupõe a ocorrência de processos de translocação

destes nutrientes dos órgãos em senescência para outras estruturas vivas, por exemplo frutos, rentabilizando o uso dos nutrientes adquiridos. Para o Mg as diferenças não foram tão acentuadas e para o Ca e o Mn verificaram-se mesmo concentrações superiores na necromassa, devido à imobilidade destes nutrientes.

O Mn registou uma concentração muito mais elevada nas folhas do que nos restantes órgãos. Este facto explica-se, pelo envolvimento fundamental deste microelemento nos processos da fotossíntese, em particular na reacção de oxidação da molécula de água (Mengel & Kirkby, 1987), e da respiração celular, activando enzimas que intervêm no ciclo de Krebs (Marschner, 1995).

Os valores de concentração de N, de P, de Ca e de Mg na biomassa das herbáceas foram um pouco inferiores, mesmo os das ASC, aos registados por Titlyanova & Bazilevich (1979) para um prado misto; apenas os valores de K foram muito mais elevados, no presente estudo, que os referidos por aqueles autores, assemelhando-se aos registados por Ballarin (1995) para prados e pastagens pirenaicos.

As Dicotiledóneas registaram teores bastante superiores de água e concentrações mais elevadas de N, de K, de Ca, de Mg e de Mn que as Monocotiledóneas. Apenas o P apresentou concentrações semelhantes nos dois grupos taxonómicos, ligeiramente mais elevados para Dicotiledóneas. Ballarin (1995) registou diferenças semelhantes às descritas entre espécies de Monocotiledóneas e Dicotiledóneas, excluindo o caso do K que apresentou concentrações semelhantes nos dois grupos taxonómicos. O K, o P, o Ca e o Mg aumentaram a sua concentração na fitomassa aérea de 1994 a 1996.

Em relação à composição orgânica, os cobertos das ASC foram mais ricos em proteínas e lípidos e as AFC em hidratos de carbono estruturais (fibras). As herbáceas das AFC, por se encontrarem em condições de maior exposição à radiação, desenvolveram mais estruturas de suporte e protecção, de forma a não perderem muita água por evapotranspiração.

As Dicotiledóneas apresentaram maior proporção de proteínas e lenhinas, tendo as Monocotiledóneas valores superiores de celulosas e hemicelulosas. O facto de as Dicotiledóneas apresentarem maior percentagem de lenhinas, deverá conferir-lhes maiores capacidades para competirem com as Monocotiledóneas nas AFC. Os valores de ADF (celulose+lenhina) registados por Zeller *et al.* (2000) para uma região sub-alpina, tanto para prados intervencionados, como para prados abandonados, foram muito inferiores aos

observados no presente estudo. O teor de fibras varia entre espécies e também entre ecótipos, resultando deste facto as diferenças assinaladas entre os dois estudos.

Cernusca *et al.* (1992) registaram, tanto em prados abertos como em cobertos herbáceos sob *Larix*, valores de proteína semelhantes aos das ASC, tendo sido os valores de Ca ligeiramente superiores aos dos dois cobertos e os de P cerca de metade dos registados nas ASC. Os valores totais de fibras foram muito superiores no presente estudo que os encontrados por Cernusca *et al.* (1992), provavelmente pelas razões apontadas anteriormente.

Em termos de composição total dos cobertos, as AFC devolveram mais nutrientes e componentes orgânicos ao solo devido à maior quantidade de fitomassa formada e à maior percentagem de Dicotiledóneas.

A razão C/N foi superior para as herbáceas das AFC (25,8) do que para as herbáceas das ASC (23,0), apresentando as herbáceas das AFC concentrações superiores de hidratos de carbono estruturais (fibras) e inferiores de proteína em relação às herbáceas das ASC. Estas diferenças deverão estar relacionadas com a maior disponibilidade de N nos solos das ASC do que nos solos das AFC (Quadro 18) e ao maior investimento em tecidos de suporte por parte da herbáceas das AFC (Quadro 28). Zeller *et al.* (2000), num estudo efectuado em prados alpinos, verificaram que em prados abandonados, não sujeitos a fertilização (quer química, quer orgânica), a razão C/N aumentava em relação a prados sujeitos a fertilização, devido ao aumento do teor de lenhinas e à diminuição da concentração de N nos prados abandonados.

Chapin & Van Cleve (1989) apresentam valores foliares críticos de macronutrientes, a partir dos quais consideram que existe deficiência nutricional na planta: 15 mg g⁻¹ (N); 1-2 mg g⁻¹ (P); 4-14 mg g⁻¹ (K); 2-6 mg g⁻¹ (Ca) e 1-2 mg g⁻¹ (Mg). Os teores foliares em nutrientes, obtidos no presente estudo, indicam não existirem deficiências nutricionais nas plantas analisadas. Apenas a concentração de Mg para as Monocotiledóneas das AFC (1,9 mg g⁻¹) está próxima do limite crítico. Dado que o Mg é um dos constituintes da molécula da clorofila e desempenha um papel importante na activação de enzimas que intervêm nos processos de respiração e fotossíntese, a sua baixa concentração nas folhas das Monocotiledóneas das AFC, poderá explicar a falta de capacidade destas para competirem com as Dicotiledóneas em zonas abertas.

Kirchgeßner (1970) considera que prados com valores de P na MO da ordem dos 3,0-4,5 mg g⁻¹ apresentam boas características nutricionais. No caso das ASC este valor foi de

2,9 mg g⁻¹ e no caso das AFC de 2,4 mg g⁻¹. Em termos nutritivos as herbáceas das ASC terão mais qualidades que as das AFC, mais N e P e menos fibras.

Composição química da fitomassa subterrânea

As raízes das herbáceas das ASC apresentaram concentrações médias para os três anos de estudo de K, de Ca, de Mg e de Mn inferiores aos das AFC (Quadro 30), tendo as concentrações de P sido idênticas para os cobertos e as concentrações de N superiores para as raízes das ASC. Apesar da maior disponibilidade de N, P e K nos solos das ASC, nas concentrações da fitomassa subterrânea observou-se uma situação diversa da registada para a fitomassa aérea, em que as concentrações de todos os nutrientes foram superiores para as ASC. É possível que as concentrações de nutrientes sejam superiores nas raízes de Dicotiledóneas, mais abundantes nas AFC, justificando as diferenças observadas entre as concentrações de nutrientes na fitomassa subterrânea das duas áreas.

Dos nutrientes analisados nas raízes das herbáceas dos dois cobertos, os que apresentaram concentrações superiores foram o N e o Ca, seguindo-se, por ordem decrescente, o Mg, o K, o P e o Mn. A importância relativa dos nutrientes na fitomassa aérea (Quadro 26) também foi diferente da enunciada para a fitomassa subterrânea, tornando-se o Ca o segundo elemento melhor representado e passando o K para a quarta posição. Dado que o Ca é um elemento importante nos processos de divisão celular, sendo um constituinte da lamela média e do fuso acromático (Hepler & Wayre, 1985), será de prever a sua maior concentração em zonas de forte actividade meristemática, como as extremidades das raízes.

A fitomassa subterrânea registou concentrações de Mg e de Mn semelhantes às da fitomassa aérea, tendo os valores de N, de P, de Ca e de K sido superiores nesta em relação àquela. Apenas o N apresentou um padrão das concentrações anuais semelhante para a fitomassa aérea e subterrânea.

Não se registaram diferenças assinaláveis na composição química da fitomassa radical, nem entre áreas, nem entre anos. Em termos de devolução total de nutrientes, as AFC apresentaram maiores quantidades, devido à maior fitomassa subterrânea nestas que nas ASC.

Decomposição e dinâmica de nutrientes

Os processos de decomposição da MO das herbáceas sob a copa (hASC) e das herbáceas fora da influência da copa (hAFC) foram semelhantes, tendo as hASC apresentado um decréscimo da MO mais rápido nas fases iniciais do processo de decomposição. O facto da proporção de fibras (celulose+hemicelulose+lenhina) e da razão lenhina/N terem sido superiores para as herbáceas da AFC em relação às da ASC (Quadro 32), poderá explicar as diferenças entre as velocidades iniciais da decomposição da MO das herbáceas da ASC e da AFC. Cernusca *et al.* (1992) também verificaram que, para os primeiros 112 dias de estudo, a decomposição de herbáceas se processava mais rapidamente sob a copa de *Larix decidua* que em prados abertos, apresentando as herbáceas das áreas sob copa maiores concentrações iniciais de nutrientes.

No primeiro mês de decomposição das herbáceas da ASC e da AFC, houve um decréscimo acentuado da MO que terá correspondido à lixiviação dos materiais hidrossolúveis. Ao fim de 2 anos as taxas de decomposição foram de $-0,89 \text{ ano}^{-1}$ (hAFC) e $-1,01 \text{ ano}^{-1}$ (hASC). O processo de decomposição das herbáceas foi muito mais rápido do que a decomposição das folhas de sobreiro ($k = -0,54 \text{ ano}^{-1}$). A qualidade dos substratos a decompor parece estar na origem das diferentes velocidades de decomposição, dado que as folhas de sobreiro apresentaram um teor muito inferior em cinza (38 mg g^{-1}) em relação às herbáceas (68 mg g^{-1} nas hAFC e 95 mg g^{-1} nas hASC), tendo estas registado concentrações superiores de N, de P, de K e de Mg e uma razão C/N inferior (Quadro 32) em relação às folhas de sobreiro. Segundo Fog (1988) os substratos com uma concentração inicial de N mais elevada decompõem-se mais rapidamente do que aqueles que possuem uma concentração de N inferior se o teor de lenhina for idêntico. No entanto, a razão lenhina/N foi muito superior nas folhas de sobreiro (27,9) quando comparada com a registada para as herbáceas (6,6 para as hAFC e 6,0 para as hASC). Sendo a lenhina um dos materiais mais recalcitrantes à decomposição os valores da razão lenhina/N referidos vêm confirmar a importância da qualidade do substrato no processo de decomposição.

Schomberg *et al.* (1994) obtiveram coeficientes de decomposição muito superiores para *Medicago sativa* L. que para *Sorghum bicolor* (L.) Moench. e *Triticum aestivum* L.

emend. Thell., referindo para a primeira espécie concentrações de N muito superiores (entre 10 a 20 vezes) em relação às duas últimas espécies.

Köchy & Wilson (1997), num estudo de decomposição de folhas de *Populus* e herbáceas, sob diversas condições ambientais, também concluíram que a velocidade de decomposição era mais fortemente influenciada pelo tipo de substrato do que pelas condições microclimáticas dos locais onde colocaram os materiais a decompor.

A precipitação parece ter influenciado o processo de decomposição das herbáceas, tendo o decréscimo de MO sido mais acentuado nas épocas de maior pluviosidade; no entanto, ao fim de dois anos, a quantidade de MO remanescente nas hASC e nas hAFC foi muito semelhante. As condições microclimáticas influenciam os processos de decomposição (Berg *et al.*, 1993), mas no presente estudo a qualidade do material vegetal usado no estudo da decomposição teve um papel mais importante. As hASC e as folhas de sobreiro estiveram sujeitas às mesmas condições climáticas, tendo sido colocadas sob a copa de sobreiros, e no entanto o coeficiente de decomposição das herbáceas foi muito superior ao das folhas de sobreiro, tendo estas apresentado teores superiores de lenhina e inferiores de N.

A concentração inicial, em nutrientes e MO, influencia em muitos casos (Thomas & Asakawa, 1993) a velocidade de decomposição dos resíduos orgânicos, sendo esta superior quando as concentrações são mais elevadas. As concentrações iniciais de N foram idênticas nas hASC e nas hAFC, tendo as suas taxas de decomposição sido semelhantes.

Os padrões de libertação dos nutrientes não apresentaram grandes diferenças entre si, tanto para as hASC como para as hAFC, seguindo um padrão semelhante ao da decomposição da MO, com excepção do K e o Mn. O K foi o elemento que baixou a sua proporção mais rapidamente, passado um mês restavam apenas 20% da sua proporção inicial. Este elemento é muito solúvel, o que explica a grande percentagem de libertação na fase de lixiviação. Palm & Sanchez (1990) também registaram uma rápida libertação de K, uma redução para metade nos primeiros 10 dias, em herbáceas forrageiras.

O Mn apresentou um padrão muito distinto dos restantes nutrientes, aumentando a sua proporção e imobilizando-se, durante 27 meses (hASC) e 8 meses (hAFC), iniciando a sua libertação em seguida. A actividade dos microorganismos decompositores, em especial de fungos, deverá estar na origem da imobilização do Mn (Wariishi *et al.*, 1991), tendo sido a sua acção mais pronunciada nas áreas sob copa onde a concentração de MO e nutrientes era superior.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sobreiros renovaram a sua copa durante a Primavera e quase simultaneamente a maioria das folhas que se originaram na Primavera anterior sofrem abscisão. A quantidade de folhas formadas parece ter sido influenciada pelas condições meteorológicas, em especial pela pluviosidade ocorrida durante o Inverno e a Primavera anteriores. No período que antecede a queda das folhas cerca de 50% do N, do P e do K são translocados destas para outros órgãos da árvore, para posteriormente serem reutilizados, por exemplo na formação de novas folhas.

Durante o período de estudo não se verificaram diferenças significativas entre as quantidades anuais de folhada de sobreiro; no entanto, verificaram-se diferenças entre os totais anuais de folhas da folhada. A quantidade de folhas caídas em cada ano parece estar correlacionada com a quantidade de folhas produzidas no ano anterior, sendo as duas influenciadas por factores climáticos, em especial a pluviosidade. A produção de frutos ocorreu em anos alternados, apresentando uma grande variação intra e inter-anual.

A quantidade anual média de nutrientes devolvidos ao solo pela folhada de sobreiro foi elevada (Figura 66), tendo sido as folhas e os frutos os componentes que mais contribuíram para essa devolução.

O processo de decomposição das folhas de sobreiro apresentou fases distintas, no que respeita à libertação de nutrientes e perda de peso. Na fase inicial, correspondente à lixiviação de materiais hidrossolúveis, o decréscimo de matéria orgânica foi mais acentuado do que a libertação dos nutrientes estudados, com excepção do K. Numa fase intermédia a quantidade de matéria orgânica decresceu lentamente, ocorrendo a imobilização do N, do P e do Ca. Na fase final, ocorreu a libertação dos nutrientes considerados, e passados cinco anos restavam apenas entre 5% e 18% da sua quantidade inicial.

A disponibilidade hídrica do solo foi superior nas áreas sob influência das copas de sobreiro em relação às áreas abertas, existindo uma maior capacidade para a retenção de água no solo nas áreas sob a copa, em especial na camada 0-5 cm.

O solo das áreas sob a copa das árvores registou teores mais elevados de nutrientes e matéria orgânica do que o solo das áreas abertas (Figura 66), apresentando as camadas mais superficiais do solo as concentrações mais elevadas. As copas de sobreiro interceptaram cerca de 80% da radiação fotossinteticamente activa (PAR) incidente, modificando quantitativa e qualitativamente o regime de radiação sob a sua influência.

Através dos resultados obtidos no presente estudo é possível concluir que sob a copa dos sobreiros existem condições microclimáticas e pedológicas diferentes das encontradas nas áreas abertas, não influenciadas pelas copas. O enriquecimento do solo sob a copa em nutrientes e matéria orgânica deveu-se à deposição da folhada do sobreiro, que se concentrou na área de influência da respectiva copa, e à interceptação da água das chuvas pelas copas dos sobreiros. Esta acção, conjuntamente com a interceptação da radiação incidente, diminuiu a perda de água do solo, tornando-se as áreas sob copa mais sombrias e com condições hídricas mais favoráveis. O aumento do teor da matéria orgânica no solo sob a copa modificou as propriedades desse solo, aumentando a sua capacidade de retenção de água. A estrutura do coberto herbáceo reflectiu essas diferenças em termos da sua fisionomia, produtividade e composição química.

A vegetação herbácea foi essencialmente constituída por espécies anuais, sendo o elenco florístico muito semelhante nas áreas sob (ASC) e fora (AFC) da influência das copas. As principais diferenças registaram-se a nível quantitativo, tendo as Dicotiledóneas predominado nos cobertos herbáceos das AFC, apresentando os cobertos herbáceos das ASC menor densidade de plantas por área. As herbáceas das ASC apresentaram características de “plantas de sombra”, evidenciando as suas componentes razões área/peso e índices de área totais superiores aos registados para as herbáceas das AFC. Comparativamente, o investimento em folhas foi superior nas herbáceas das ASC, enquanto o investimento em órgãos reprodutores foi superior nas herbáceas das AFC.

A produtividade das AFC foi sempre superior à das ASC, tanto no respeitante à fitomassa aérea como à fitomassa subterrânea. A fitomassa aérea das ASC apresentou valores entre 74% a 55% dos valores registados para a fitomassa aérea das AFC. A fitomassa radical apresentou uma diferenciação mais pronunciada entre os cobertos, tendo os valores obtidos para as herbáceas das ASC representado 51% a 56% dos registados para as herbáceas das AFC. A densidade de enraizamento foi muito superior nos primeiros 5 cm do solo, possuindo esta camada melhores características hídricas e nutricionais em qualquer das duas áreas (ASC e AFC).

A disponibilidade hídrica parece ter influenciado a variação da produção anual da fitomassa aérea, que apresentou o valor mais elevado no ano mais pluvioso (1996), não afectando, porém, a produção da fitomassa radical.

A fisionomia dos dois cobertos foi semelhante, distribuindo-se a fitomassa em pirâmide, concentrando-se nos estratos mais próximos da superfície do solo. Este tipo de estrutura vertical poderá ser considerada uma adaptação ao pastoreio, predominando a fitomassa nos estratos mais inacessíveis aos herbívoros.

A distribuição vertical da fitomassa e a disposição dos ângulos foliares (tendendo a ser verticais nos estratos superiores e horizontais nos inferiores) favoreceu a penetração da radiação no coberto, extinguindo-se uma percentagem elevada da PAR incidente nos estratos mais próximos do solo. A quantidade e a qualidade da PAR que atingiu os cobertos das ASC foi muito inferior à registada para as AFC, devido à intercepção pelas copas de sobreiro.

A fitomassa aérea das herbáceas das ASC apresentou maior percentagem de água e concentrações mais elevadas de N, de K, de Ca, de Mg, de P e de Mn do que a das herbáceas das AFC, tendo sido igualmente mais ricas em proteínas e lípidos, enquanto as das AFC foram mais ricas em fibras (celulose, hemicelulose e lenhina).

A fitomassa radical apresentou concentrações médias mais elevadas de K, de Ca, de Mg e de Mn nas herbáceas das AFC que nas das ASC, tendo sucedido o inverso para o N. As concentrações médias de P foram idênticas nas raízes das herbáceas das ASC e das AFC. O teor de nutrientes foi inferior na fitomassa radical em relação à fitomassa aérea, excepto para o Mg e o Mn que apresentaram concentrações médias mais elevadas na fitomassa radical das AFC em relação à fitomassa aérea.

O processo de decomposição dos resíduos senescentes das herbáceas das ASC foi semelhante ao das herbáceas AFC, diferindo na fase inicial em que foi mais rápido para as herbáceas das ASC. O padrão de libertação do Ca, do P e do K foi semelhante para as herbáceas das ASC e AFC, tendo-se processado a libertação do N, do Mg e do Mn mais rapidamente no caso das herbáceas da ASC. Apenas o Ca (herbáceas da AFC) e o Mn (herbáceas das ASC e AFC) apresentaram uma fase de imobilização anterior à sua libertação.

Os cobertos das AFC apresentaram uma quantidade média anual mais elevada em nutrientes e matéria orgânica do que os cobertos das ASC (Figura 66), devolvendo rapidamente os nutrientes ao solo através do processo de decomposição. No entanto, observou-se que o teor de nutrientes e matéria orgânica do solo das AFC foi inferior ao das ASC. De salientar, que a vegetação herbácea estudada foi protegida do pastoreio.



Figura 66. Composição química média anual, em g m^{-2} , da folhagem de sobreiro (◇) e das herbáceas – fitomassa aérea (□) e fitomassa subterrânea (○) – que crescem sob e fora da influência das copas e devolução anual de nutrientes, em g m^{-2} , pelo processo de decomposição (a vermelho). Teor de nutrientes no solo, em kg^{-1} , (○) das ASC e das AFC.

Em condições naturais, em que a vegetação herbácea não se encontra protegida, a exportação de fitomassa, ocasionada pelo pastoreio e pela actividade de roedores, deverá estar na origem das diferenças observadas na constituição dos solos existentes sob e fora da influência das copas. Deste modo, apesar da quantidade de nutrientes e matéria orgânica ter sido superior nos cobertos das AFC, estes materiais não deverão ter sido totalmente incorporados no solo, ocasionando o empobrecimento progressivo do solo das AFC em relação às ASC.

Os cobertos herbáceos que crescem nas ASC apresentaram menor quantidade de nutrientes e matéria orgânica (Figura 66) do que os cobertos das AFC, porém, o solo das áreas sob a copa foi mais rico em matéria orgânica e nutrientes que o existente nas AFC. Por um lado, o efeito da exportação de fitomassa levada a cabo por herbívoros, roedores e gado caprino, deverá ter sido menor nas ASC em relação às AFC, por outro, a folhada dos sobreiros enriqueceu o solo existente sob a copa das árvores.

Não tendo em consideração os efeitos da exportação da fitomassa nem o papel dos sistemas radicais da árvore e das herbáceas, a devolução anual média de nutrientes nas ASC, considerando os nutrientes libertados por decomposição da folhada de sobreiro e das herbáceas das ASC (C- 251,3 g m⁻², N- 4,9 g m⁻², Ca- 2,8 g m⁻², K- 8,0 g m⁻², Mg- 0,7 g m⁻², Mn- 0,06 g m⁻², P- 0,7 g m⁻²), foi superior, excepto para o P, à registada para as AFC, considerando apenas o contributo das herbáceas das AFC (C- 210,9 g m⁻², N- 4,6 g m⁻², Ca- 2,6 g m⁻², K- 7,8 g m⁻², Mg- 0,4 g m⁻², Mn- 0,02 g m⁻², P- 0,9 g m⁻²).

As árvores determinaram as diferenças encontradas na distribuição espacial de nutrientes no sistema, criando “ilhas de fertilidade” na área de influência das suas copas e do seu sistema radical, enriquecendo o solo em nutrientes pela deposição e decomposição da folhada, formação e decomposição das raízes e pela intercepção da água das chuvas (gotejo e escoamento ao longo do tronco).

Se as herbáceas que se desenvolvem nas ASC têm condições ambientais mais favoráveis que as das AFC – maior disponibilidade de água no solo, menos perdas por evapotranspiração devido à protecção das copas, maior concentração de nutrientes no solo o que se reflectiu numa maior concentração de nutrientes na biomassa, uma libertação de N mais rápida durante o processo de decomposição, maior índice de área foliar e uma superfície fotossinteticamente activa superior – porque motivo foram menos produtivas? A resposta a

esta questão parece residir no facto da radiação ter sido o factor limitante na produção de fitomassa, em especial aérea, justificando a menor produtividade. O ensombramento provocado pelas copas de sobreiro, modificando a qualidade e quantidade de radiação recebida, deverá ter induzido uma maior expansão em área e a aumentado a necessidade do investimento em folhas, para garantir a produção de energia necessária à sobrevivência das espécies da ASC. Esta estratégia não foi no entanto suficiente para que a produtividade das herbáceas das ASC superasse a das AFC.

Poder-se-à igualmente colocar a hipótese da existência de competição entre a árvore e a vegetação herbácea pela aquisição de água e nutrientes, no entanto, os resultados obtidos no presente estudo, apontam para que essa competição se exerça indirectamente através da intercepção da radiação.

Por outro lado, se a radiação limitou o crescimento das herbáceas das ASC em relação às das AFC, parece que a menor disponibilidade hídrica e nutricional do solo das AFC não exerceu uma limitação tão forte sobre os cobertos herbáceos que ocupavam estas áreas. Porém, se a exportação de fitomassa das AFC for elevada e se processar de forma continuada é possível que os efeitos de empobrecimento do solo sejam mais marcantes.

Tendo em consideração que o elenco florístico das ASC e das AFC foi idêntico, supõe-se que as herbáceas estudadas estarão adaptadas a ambientes secos e ensolarados e com algumas restrições nutricionais, conseguindo adaptar-se, com prejuízo da sua produtividade global, a locais mais sombrios, que apesar de lhes proporcionarem uma maior disponibilidade hídrica e nutricional, não lhes permitem obter a eficiência fotossintética necessária.

BIBLIOGRAFIA

- Aber, J. & Melillo, J. 1980. Litter decomposition: measuring relative contributions of organic matter and nitrogen to forest soils. *Canadian Journal of Botany* **58**: 416-421.
- Aber, J., Melillo, J. & McLaugherty, C. 1990. Predicting long-term patterns of mass loss, nitrogen dynamics, and soil organic matter formation from initial fine litter chemistry temperate forest ecosystems. *Canadian Journal of Botany* **68**: 2201-2208.
- Aguiar, F.B. & Grilo, J.T. 1975. *Carta de solos da Herdade da Mitra*. Universidade de Évora. Évora. Portugal. (em publicação).
- Ballarin, L.G. 1995. *Estructura de la vegetacion en comunidades pratenses pirenaicas sometidas a diferente gestion. Interpretacion ecologica (funcional y causal)*. Tesis. Instituto Pirenaico de Ecología. Jaca. Espanha.
- Baltasar, J.L., Rego, F.C. & Coutinho, J.M. 1983. *Efeitos do coberto de azinheira (Quercus rotundifolia) na ecologia de pastagens à base de trevo subterrâneo*. Instituto Universitário de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real. Portugal.
- Barrantes, O., Fernández, K., Joffre, R. & Ortega, F. 1986. Influencia del arbolado sobre el pasto en las dehesas. In: *I Congresso Florestal Nacional*. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. Portugal. pp. 280-285.
- Belsky, A. 1994. Influence of trees on savanna productivity: tests of shade, nutrients, and tree-grass competition. *Ecology* **75**: 922-932.
- Belsky, A.J., & Amundson, R.G. 1992. Effects of trees on understory vegetation and soils at forest-savanna boundaries in East Africa. In: P.A. Furley, J. Proctor & J.A. Ratter (eds.). *Nature and dynamics of forest-savanna boundaries*. Chapman and Hall. London. U.K. pp. 353-366.
- Belsky, A.J., Amundson, R.G., Duxbury, J.M., Riha, S.J., Ali, A.R. & Mwonga, S.M. 1989. The effects of trees on their physical, chemical, and biological environments in a semi-arid savanna in Kenya. *Journal of Applied Ecology* **26**: 1005-1024.
- Belsky, A.J., Mwonga, S.M., Amundson, R.G., Duxbury, J.M., & Ali, A.R. 1993a. Comparative effects of isolated trees on their undercanopy environments in high- and low-rainfall savannas. *Journal of Applied Ecology* **30**: 143-155.
- Belsky, A.J., Mwonga, S.M. & Duxbury, J.M. 1993b. Effects of widely spaced trees and livestock grazing on understory environments in tropical savannas. *Agroforestry Systems* **24**: 1-20.

- Berendse, F., Kroon, H. & Braakhekke, G. 1999. Acquisition, use and loss of nutrients. In: F. Pugnaire & F. Valladares (eds.). *Handbook of Functional Plant Ecology*. Marcel Dekker, Inc. New York. U.S.A. pp. 315-345.
- Berg, B., Berg, M.P., Bottner, P., Box, E., Breymeyer, A., Calvo de Anta, R., Couteaux, M., Escudero, A., Gallardo, A., Krantz, W., Madeira, M., Mäkönen, E., McClaugherty, C., Meentemeyer, V., Munoz, F., Piussi, P., Remacle, J. & Virzo de Santo, A. 1993. Litter mass loss rates in pine forests of Europe and Eastern United States: some relationships with climate and litter quality. *Biogeochemistry* **20**: 127-159.
- Bocock, K. & Gilbert, O. 1957. The disappearance of leaf litter under different woodland conditions. *Plant and Soil* **9**: 179-185.
- Borchert, R. 1994. Soil and stem storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. *Ecology* **75**(5): 1437-1449.
- Braun-Blanquet, J. 1965. *Plant Sociology: the study of plant Communities*. Hafner. London. U.K.
- Bray, J. 1963. Root production and the estimation of net productivity. *Canadian Journal of Botany* **41**: 65-72.
- Breckle, S.W. 1966. *Ökologische untersuchungen im korkeichenwald kataloniens*. Dissertation. Stuttgart-Hohenheim. Germany.
- Breman, H. & De Wit, C.T. 1983. Rangeland productivity and exploitation in the Sahel. *Science* **221**: 1341-1347.
- Bremner, J.M. & Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen – total. In: A.L. Page, R.H. Miller & D.R. Keeney (eds.). *Methods of Soil Analysis - Part 2*. Soil Science Society of America. Madison. Wisconsin. U.S.A. pp. 595-624.
- Brito de Carvalho, J.H. 1993. "Stress" do sobreiro e da azinheira ou a doença de Lopes Pimentel? C.I.D.E.R. Universidade do Algarve. Faro. Portugal.
- Burrows, W.H., Scanlan, J.C. & Anderson, E.R. 1988. Plant ecological relations in open forest, woodlands and shrublands. In: W.H. Burrows, J.C. Scanlan & M.T. Rutherford (eds.). *Native pastures in Queensland: the resources and their management*. Queensland Department of Primary Industries. Information Series Q187023, Queensland Government Printer, Brisbane, Australia. pp. 72-90.
- Burrows, W.H., Canter, J.O., Scanlan, J.C. & Anderson, E.R.. 1990. Management of savanna for livestock production in north-east Australia: contrasts across the tree-grass continuum. *Journal of Biogeography* **17**: 503-512.
- Cabral M.T., Ferreira M.C., Moreira T., de Carvalho E.C. & Diniz A.C. 1992. Diagnóstico das causas da anormal mortalidade dos sobreiros a sul do Tejo. *Scientia gerundensis* **18**: 205-214.

- Caldwell, M., Dean, T., Nowak, R., Dzurec, R. & Richards, J. 1983. Bunchgrass architecture, light interception, and water-use efficiency: assessment by fiber optic point quadrats and gas exchange. *Oecologia* 59: 178-184.
- Capelo, J.H. 1996. Origem e diferenciação das paisagens florestais do Baixo Alentejo. *Revista Florestal* 9(3): 72-81.
- Cardoso, J.C. 1974. A classificação de solos de Portugal - nova versão. *Boletim de Solos do S.R.O.A.* 17: 14-46.
- Caritat, A., Robert, B., Vilar, L., Bertoni, G. & Molinas, M. 1993. Estudio del contenido en nutrientes y la estacionalidad en la fracción hojas de la hojarasca del alcornoque, *Quercus suber* L. In: J.F. Gallardo (ed.). *Biogeoquímica de Ecosistemas*. Junta de Castilla y Leon. Valladolid. España. pp. 101-110.
- Cernusca, A. 1977. Alpine Umweltprobleme. Ergebnisse des Forschungsprojekts Achenkirch. In: Schmidt (ed.). *Beiträge zur Umweltgestaltung*. Berlin. Germany.
- Cernusca, A. 1996. *INTEGRALP - Ökologie und Bewirtschaftung alpiner Ökosysteme*. Unveröffentlichter Abschlußbericht Österr. Bundesministerium f. Land- und Forstwirtschaft. Österreich. pp. 99-133.
- Cernusca, A. & Nachuzrišvili, G. 1983. Untersuchung der ökologischen Auswirkungen intensiver Schafbeweidung im Zentral-Kaukasus. *Verh. Gesell. Ökol.* 10: 183-192.
- Cernusca, A., Seeber, M., Mayr, R. & Horvath, A. 1978. Bestandesstruktur mikroklimate und energiehaushalt von bewirtschafteten und aufgelassenen almfächen in badgastein. In: A. Cernusca (ed.). *Veröff. Österr. MAB-Programm – Bd.2*. Universitätsverlag Wagner. Innsbruck. Österreich. pp. 47-66.
- Cernusca A., Tappeiner, U., Agostini, A., Bahn, M., Bezzi, A., Egger, R., Kofler, R., Newesely, C., Orlandi, D., Prock, S., Schatz, H. & Schatz, L. 1992. Ecosystem research on mixed grassland/woodland ecosystems. *Studi Trent. Sci. Nat.* 67(Acta Biol.): 99-133.
- Chapin, F.S & Kedrowski, R.A. 1983. Seasonal changes in nitrogen and phosphorus fractions and autumn retranslocation in evergreen and deciduous taiga trees. *Ecology* 64: 376-391.
- Chapin, F.S & Shaver, G.R. 1985. Individualistic growth response of tundra plant species to environmental manipulations in the field. *Ecology* 66: 564-576.
- Chapin, F.S. & Van Cleve, K. 1989. Approaches to studying nutrient uptake, use and loss in plants. In: R.W. Pearcy, J. Ehleringer, H.A. Mooney & P.W. Rundel (eds.). *Plant Physiological Ecology: Field methods and instrumentation*. Chapman and Hall. London, New York. U.S.A. pp. 185-207.
- Chapin, F.S., Bloom, A.J., Field, C.B. & Waring, R.H. 1987. Plant responses to multiple environmental factors. *BioScience* 37: 49-57.

- Clary, W.P. 1987. Herbage production and livestock grazing on pinyon—juniper woodlands. In: E.L. Everett (ed.). *Proceedings of the pinyon-juniper conference*. United States Forest Service, Intermountain Research Station, General Technical Report INT-215. U.S.A. pp. 440-446.
- Cortez, N. 1996. *Compartimentos e ciclos de nutrientes em plantações de Eucaliptus globulus Labill. ssp. globulus e Pinus pinaster Aiton*. Dissertação. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. Portugal.
- Coughenour, M.B. 1991. Biomass and nitrogen responses to grazing of upland steppe on Yellowstone's Northern winter range. *Journal of Applied Ecology* 28: 71-82.
- Coupland, R.T. 1979. *Grassland ecosystems of the world*. R.T. Coupland (ed.), I.B.P. 18, Cambridge University Press, Cambridge. U.K. pp. 335-355.
- Cruz, C.S. 1986. A Vegetação Potencial do Alentejo: Elementos para o Estabelecimento de uma Situação Ecológica de Referência. *Actas do II Congresso sobre o Alentejo* 3: 1356.
- Davidson R.L. 1969. Effects of soil nutrients and moisture on root/shoot ratios in *Lolium perenne* L. and *Trifolium repens* L. *Ann. Bot.* 33: 571-577.
- Davidson, J.L. & Philip, J.R. 1958. Light and pasture growth. In: *Arid zone research 11. Climatology and Microclimatology*. Proceedings of the Canberra Symposium. Australia. pp. 181-187.
- De Leenheer, L. & Van Hove, J. 1958. Determination de la teneur en carbone organique des sols. Étude critique des méthodes titrimétriques. *Pédologie* 8: 39-77.
- De Wit, C.T. 1965. Photosynthesis of leaf canopies. *Agr. Res. Rep.* 663: 1-57.
- DGF. 1999. *Inventário Florestal Nacional. Distribuição da Floresta em Portugal Continental. Resumo*. Direcção Geral das florestas. Lisboa. Portugal.
- Escarre, A., Ferrés, L., Lopez, R., Martin, J., Rodà, F. & Terrades, J. 1987. Nutrient use strategy by evergreen-oak (*Quercus ilex* ssp. *ilex*) in NE Spain. In: J.D. Tenhunen, F.M. Catarino, O.L. Lange & W.C. Oechel (eds.). *Plant Response to Stress – Functional Analysis in Mediterranean Ecosystems*. NATO ASI Series. Vol G15. Springer. Berlin. Germany. pp. 429-435.
- Escarre, A., Rodà, F., Terrades, J. & Mayor, X. 1999. Nutrient Distribution and Cycling. In: F. Rodà, J. Retana, C.A. Gracia, & J. Bellot (eds.). *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests*. Ecological Studies. vol. 137. Springer-Verlag. Berlin. Germany. pp. 253-269.
- FAO. 1988. *FAO/Unesco Soil Map of the World, Revised Legend, with corrections*. World Resources Report 60, FAO, Rome. (Reprinted as Technical Paper 20, ISRIC, Wageningen). Holland.

- Fernández-Alés, R. & Leiva, M.J. 1992. Bases ecológicas para la gestión racional de un recurso renovable: los pastos mediterráneos. In: *IV Congreso Nacional de Economía. Desarrollo económico y medio ambiente*. Sevilla. España. pp. 213-219.
- Fernández-Alés, R., Laffarga, J. & Ortega, F. 1993. Strategies in Mediterranean grassland annuals in relation to stress and disturbance. *Journal of Vegetation Science* **4**: 313-322.
- Fernández-Alés, R., Leiva, M.J. & García-Gordo J. 1997. Producción y consumo de pastos en las dehesas de Andalucía Occidental. *Actas de la XXXVII reunión científica de la S.E.E.P.* Junta de Andalucía. Sevilla. pp. 215-220.
- Fiala, K. & Studený, V. 1987. Cutting and fertilization effect on the root system in several grassland stands. *Ekológia* **6**(4): 389-402.
- Fischer, R. & Turner, N. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Annual Review of Plant Physiology* **29**: 277-317.
- Fliervoet, L. 1987. Characterization of the canopy structure of Dutch grasslands. *Vegetatio* **70**: 105-117.
- Fog, K. 1988. The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of organic matter. *Biol. Rev.* **63**: 433-462.
- Franco, J. A. 1974. *Nova Flora de Portugal (Continente e Açores), Volume I Lycopodiaceae - Umbelliferae*. Edição do autor, Lisboa. Portugal.
- Franco, J. A. 1984. *Nova Flora de Portugal (Continente e Açores), Volume II Clethraceae - Compositae*. Edição do autor, Lisboa. Portugal.
- Frost, W. & Edinger, S. 1991. Effects of tree canopies on soil characteristics of annual rangeland. *Journal of Range Management* **44**: 286-288.
- Frost, W. & McDougald, N. 1989. Tree canopy effects on herbaceous production of annual rangeland during drought. *Journal of Range Management* **42**: 281-283.
- Gallardo, A. & Merino, J. 1993. Leaf decomposition in two mediterranean ecosystem of southwest Spain. Influence of substrate quality. *Ecology* **74**: 152-161.
- Gallardo, A. & Schlesinger, W.H. 1994. Factors limiting microbial biomass in the mineral soil and forest floor of a warm-temperate forest. *Soil Biol. Biochem.* **26**(10): 1409-1415.
- Garnier, E. 1992. Growth analysis of congeneric annual and perennial grass species. *Journal of Ecology* **80**: 665-675.
- Garten Jr., C.T. 1976. Correlations between concentrations of elements in plants. *Nature* **261**: 686-688.

- Gómez, J.M., Calabuig, E.L. & Escudero, A. 1980. Materiales aportados al suelo por la encina en la zona de dehesa salmantina. I. Sustancia seca. *Studia Oecologica* **2**: 181-211.
- González-Bernaldez, F., Morey, M. & Velasco, F. 1969. Influences of *Quercus ilex* on the herb layer at the El Prado forest (Madrid). A multivariate approach to community structure, diversity and environmental factors. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Biol.)* **67**: 265-284.
- Grime, J.P. 1979. *Plant Strategies and Vegetation Processes*. John Willey & Sons, Chichester.U.K.
- Hammel, K.E. 1997. Fungal degradation of lignin. In: G. Cadisch & K.E. Giller (eds.). *Driven by nature – Plant litter quality and decomposition*. CAB International. University Press. Cambridge. U.K. pp. 33-45.
- Harrington, G.N. 1981. Grazing arid and semi-arid pastures. In: F.H.W. Morley (ed.) *Grazing Animals*. Elsevier. Amsterdam. Holland. pp. 181-200.
- Harris, G.A. & Campbell, G.S. 1989. Automated quantification of roots using a simple image analyzer. *Agron. J.* **81**: 935-938.
- Hepler, P.K. & Wayne, R.O. 1985. Calcium and plant development. *Annu. Rev. Plant. Physiol.* **36**: 397-439.
- Herbert, T.J. 1991. Variation in interception of the direct solar beam by top canopy layers. *Ecology* **71**: 17-22.
- Holland, V.L. 1980. Effect of blue oak on rangeland forage production in central California. In: *Proceedings of the symposium on ecology, management, and utilization of California oaks*. United States Department of Agriculture. Forest Service Southwest. Forest and Range Experiment Station. General Technical Report PSW-44. U.S.A. pp. 314-318.
- Hora, A., Borges, C. & Amaral, M.R. 1995. Montado de sobro e azinho: que futuro? *Revista Florestal* **8** (2): 33-42.
- Jackson, L. & Roy, J. 1986. Growth patterns of annual and perennial grasses under simulated rainfall regimes of Southern France and California. *Acta Oecol. (Oecol. Plant.)* **7**: 191-212.
- Jameson, D.A. 1963. Responses of individual plants to harvesting. *Botanical Review* **29**: 532-594.
- Joffre R. 1992. The dehesa: does this complex ecological system have a future? In: A. Teller, P. Mathy & J.N.R. Jeffers (eds.). *Responses of forest ecosystems to environmental changes*. Elsevier Applied Science. London. U.K. pp. 381-388.

- Joffre, R. & los Llanos, C. 1986. Systèmes d'élevage et mise en valeur du milieu: étude des dehesas de la Sierra Norte de Seville. In: *1º Encontro sobre montados de sobreiro e azinho*. Évora. Portugal. pp. 193-214.
- Joffre, R., Vacher, J., Fernández-Alés, R., Martín, A. & Ortega, F. 1986. La dehesa: un sistema ecológico complejo, con provenir productivo? In: MAPA, Junta de Andalucía and Casa de Velazquez (eds.). *Supervivencia de la Sierra Norte de Sevilla*. Madrid. España. pp. 237-265.
- Joffre, R., Morales, M., Rambal, S., & Fernández-Alés, R. 1987. Dynamique racinaire et extraction de l'eau du sol par des graminées pérennes et annuelles méditerranéennes. *Acta Oecologica* 8(2): 181-194.
- Joffre, R., Vacher, L., de los Llanos, C. & Long, G. 1988. The dehesa: an agrosilvopastoral system of the Mediterranean region with special reference to the Sierra Morena area of Spain. *Agroforest. Syst.* 6: 71-96.
- Killingbeck, K.T. 1996. Nutrients in senesced leaves: keys to search for potencial resorption and resorption proficiency. *Ecology* 77: 1716-1727.
- Kirchgessner, M. 1970. *Tierernährung*. DLG Verlag. Frankfurt. Germany.
- Knoop, W.T. & Walker, B.H. 1985. Interactions of woody and herbaceous vegetation in a southern African savanna. *Journal of Ecology* 73: 235-254.
- Kochy, M. & Wilson, S. (1997) Litter decomposition and nitrogen dynamics in aspen forest and mixed-grass prairie. *Ecology* 78: 732-739.
- Larcher, W. 1995. *Physiological plant ecology*. Springer-Verlag. Berlin. Germany.
- Laurenroth, W.K., Dodd, J.L., & Sims, P.L. 1978. The effects of water- and nitrogen-induced stresses on plant community structure in a semiarid grassland. *Oecologia* 36: 211-222.
- Leiva, M. & Fernández-Alés, R. 2000. Effect of grazing on the population biology of *Phalaris aquatica*. *Journal of Range Management* 53(3): 277-281.
- Lossaint, P. & Rapp, M. 1978. La forêt méditerranéenne de chênes verts. In: M. Lamotte & F. Bourlière (eds.). *Problemes d'ecologie structure et fonctionnement des écosystèmes terrestres*. Masson. Paris. France. pp. 129-185.
- Madeira, M. & Ribeiro, C. 1995. Influence of leaf litter type on the chemical evolution of a soil parent material (sandstone). *Biogeochemistry* 29: 43-58.
- Madeira, M.A. & Serralheiro, F.M. 1990. Decomposição de folhas de sobreiro e eucalipto e colonização pela mesofauna. Resultados preliminares. *Pedon* 9: 3-20
- Mahboubi, A.A. 1980. *Etude in-situ du bilan hydrique pour quelques graminées: extraction de l'eau par le système racinaire et résistance à la sécheresse*. Thèse. U.S.T.L. Montpellier. France.

- Marañon, T. 1985. Diversidad florística y heterogeneidad ambiental en una dehesa de Sierra Morena. *Anales de Edafología y Agrobiología, II. Biología Vegetal-Agrobiología* **44**: 1183-1197.
- Marañon, T. 1986. Plant species richness and canopy effect in the savanna-like dehesa of SW Spain. *Ecologia Mediterranea* **12**(1-2): 131-141.
- Marañon, T. 1991. Diversidad en comunidades de pasto mediterráneo: modelos y mecanismos de coexistencia. *Ecologia* **5**: 149-157.
- Margalef, R. 1974. *Ecologia*. Omega. Barcelona. España.
- Marschner, K. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. (2^a ed.) Academic Press. London. U.K.
- Mateus, J.E. 1992. Holocene and present-day ecosystems of the Carvalhal region, southwest Portugal. Dissertação de Doutorado, Rijksuniversiteit te Utrecht. Holland.
- Mayor, X. & Rodá, F. 1992. Is primary production in holm oak forests nutrient limited? A correlational approach. In: F. Romane & J. Terradas (eds.). *Quercus ilex L. Ecosystems: Function, Dynamics and Management*. Kluwer Academic Publishers. Belgium. pp. 209-217.
- McClaran, M.P. & Bartolome, J.W. 1989. Effect of *Quercus douglasii* (Fagaceae) on herbaceous understory along a rainfall gradient. *Madroño* **36**: 141-153.
- McMurtrie, R. & Wolf, L. 1983. A model of competition between trees and grass for radiation, water and nutrients. *Annals of Botany* **52**: 449-458.
- Mendes, J.C., Queiroz, D.X., Anastácio, P.A., Gonçalves, M.T., Cardoso, M.R. & Coelho, M.G. 1991. Normais Climatológicas da região de "Alentejo e Algarve", correspondentes a 1951-1980. *O Clima de Portugal* **49**(4): 35-36.
- Mengel, K. & Kirkby, E.A. 1987. *Principles of plant nutrition*. International Potash Institute. Bern. Suiss.
- Merino, J. 1987. The costs of growing and maintaining leaves of mediterranean plants. In: J.D. Tenhunen, F.M. Catarino, O.L. Lange & W.C. Oechel (eds.). *Plant Response to Stress – Functional Analysis in Mediterranean Ecosystems*. NATO ASI Series Vol. **G15**. Springer. Berlin. Germany. pp. 553-564.
- Milwer, C. & Hughes, R.E. 1968. *Methods for the Measurement of the primary production of grassland*. International Biological Programme, Handbook nº6. Blackwell Scientific Publications. Oxford. U.K.
- Monk, C.D. & Gabrielson Jr., F.C. 1985. Effects of shade, litter and root competition on old-field vegetation in South Carolina. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* **112**: 383-392.

- Monsi, M. & Saeki, T. 1953. Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Japanese Journal of Botany*, **14**: 22-52.
- Montero, G., Zulueta, J. & González-Adrados, J.R. 1989. Alcornocales españoles. Conocimientos de su silvicultura y temas de necesaria investigación. *Scientia gerundensis* **15**: 63-84.
- Montoya, J.M. 1983. *Pastoralismo mediterráneo*. Monografías 25, ICONA. Madrid. España.
- Montoya, J.M. 1989. Los alcornocales de la llanura costera marroquí. *Scientia gerundensis* **15**: 97-102.
- Mooney, H.A. & Gulmon, S.L. 1982. Constraints to leaf structure and function in reference to herbivory. *Bioscience* **32**: 198-206.
- Murphy, J. & Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* **27**: 31-36.
- Murteira, B.J. 1993. *Análise exploratória de dados Estatística descritiva*. McGraw-Hill ed. Lisboa. Portugal.
- Natividade, J.V. 1950. *Subericultura*. Direcção Geral das Florestas. Lisboa. Portugal.
- Naveh, Z. & Whittaker, R.H. 1979. Structural and floristic diversity of shrublands and woodlands in northern Israel and other Mediterranean areas. *Vegetatio* **41**: 171-190.
- Nobel, P.S., Forseth, I.N. & Long, S.P. 1993. Canopy structure and light interception. In: D.O. Hall, J.M.O. Scurlock, H.K. Bolhar-Nordenkanipf, R.C. Leegood & S.P. Long (eds.). *Photosynthesis and Production in a Changing Environment*. Chapman & Hall. London. U.K. pp. 79-90.
- Nunes, J. 1998. *Sistema de ciclo de nutrientes em árvores isoladas de Quercus rotundifolia Lam.* Dissertação de Mestrado. Universidade de Évora. Portugal.
- Nunes, J., Sá, C.S., Soares-David, T., Madeira, M. & Gazarini, L. 1999. Interacção entre o ciclo de nutrientes em montados de *Quercus rotundifolia* Lam. e as características do solo. *Revista de Biol. (Lisboa)* **17**: 311-325.
- Oliva, M., Caritat, A. & Molinas, M. 1992. Variación estacional del desfronde en dos parcelas de alcornocal. *Scientia gerundensis* **18**: 121-130.
- Oliveira, M. 1995. *Autecologia do Sobreiro (Quercus suber L.) em Montados Portugueses*. Tese de Doutoramento. Universidade Clássica de Lisboa. Lisboa. Portugal.
- Oliveira, M.R., Van Noordwijk, M., Gaze, S.R., Brouwer, G., Bona, S., Mosca, G. & Hairiah, K. 2000. Auger sampling, ingrowth cores and pinboard methods. In: A.L. Smit, A.G. Bengough, C. Engels, M. Van Noordwijk, S. Pellerin & S.C. Van de Geijn (eds.). *Root Methods – A handbook*. Springer. Berlin. Germany. pp. 175-210.



- Olson, J.S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* **44**(2): 322-331.
- Ortega, F. & Fernández-Alés, R. 1989. Trends in floristic change in time in Mediterranean annual grasslands of Southwestern Spain. In: F. Di Castri, Ch. Floret, S. Rambal & J. Roy (eds.). *Time Scales and Water Stress*. IUBS. Paris. France. pp. 451-456.
- Palm, C.A. & Sanchez, P.A. 1990. Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of three tropical legumes. *Biotropica* **22**: 330-338.
- Parker, V.T. & Muller, C.H. 1982. Vegetational and environmental changes beneath isolated live oak trees (*Quercus agrifolia*) in a California annual grassland. *American Midland Naturalist* **107**: 69-81.
- Parra F. 1990. *La dehesa y el olivar*. *Enciclopedia de la Naturaleza de España*. Editorial Debate. Madrid. España.
- Pereira, J.S., Beyschlag, G., Lange, O.L., Beyschlag, W. & Tenhunen, J.D. 1987. Comparative phenology of four mediterranean shrub species growing in Portugal. In: J.D. Tenhunen, F.M. Catarino, O.L. Lange & W.C. Oechel (eds.). *Plant Response to Stress – Functional Analysis in Mediterranean Ecosystems*. NATO ASI Series. Vol **G15**. Springer. Berlin. Germany. pp. 503-513.
- Pettersson, R. & Hanson, A.C. 1990. Net primary production of a perennial grass ley (*Festuca pratensis*) assessed with different methods and compared with a lucerne ley (*Medicago sativa*). *Journal of Applied Ecology* **27**: 788-802.
- Pieper, R. D. 1990. Overstory-understory relations in pinyon-juniper woodlands in New Mexico. *Journal of Range Management* **43**: 413-415.
- Pierce, L.L., Running, S.W. & Walker, J. 1994. Regional-scale relationships of leaf area index to specific leaf area and leaf nitrogen content. *Ecological Applications* **4**(2): 313-321.
- Pignatti, S. 1978. Evolutionary trends in Mediterranean flora and vegetation. *Vegetatio* **37**: 175-185.
- Piper, J. 1995. Composition of prairie plant communities on productive versus unproductive sites in wet and dry years. *Canadian Journal of Botany* **73**: 1635-1644.
- Reille, M. & Pons, A. 1992. The real significance of sclerophyllous oak forests in the western part of the Mediterranean basin: a note on pollen analytical data. *Vegetatio* **99-100**: 13-17.
- Reis, R.M. & Gonçalves, M.Z. 1985. Caracterização climática da região agrícola do Alentejo. *O Clima de Portugal* **34**. I.N.M.G. Lisboa.
- Ribeiro, J.R. 1993. Os montados como sistemas de utilização múltipla. *Informação Florestal* **1**: 13-16.

- Ribeiro, O. 1991. *Portugal - O Mediterrâneo e o Atlântico*. 6ª ed., colecção "Nova Universidade". Livraria Sá da Costa. Lisboa. Portugal.
- Risser, P.G. 1985. Grasslands. In: B.F. Chabot & H.A. Mooney (eds.). *Physiological ecology of North American plant communities*. Chapman & Hall. New York. U.S.A. pp. 232-256.
- Rivas-Martinez, S. 1995. Classificación bioclimática de la terra. *Folia Botanica Matritensis* 16: 1-32.
- Rivas-Martinez, S., Lousã, M., Diaz, T.E., Fernández-González, F. & Costa, J.S.C. 1990. La vegetación del sur de Portugal (Sado, Alentejo y Algarve). *Itinera Geobotanica* 3: 5-126.
- Rivas-Martinez, S., Sánchez-Mata, D. & Costa, M. 1999. North american boreal and western temperate forest vegetation. *Itinera Geobotanica* 12: 5-316.
- Rosich, D., Castelló, A. & Vallejo, V.R. 1989. Estudio del ciclo de la materia organica en um encinar continental de la depresion central catalana. *Options méditerranéennes - Série séminaires* 3: 173-177.
- Sá, C. S., Madeira, M. A. & Gazarini, L.C. 2000. Litterfall and nutrient release in cork oak (*Quercus suber* L.) and holm oak (*Quercus rotundifolia* Lam.) stands in Southern Portugal. In: *Proceedings of the International Symposium of Managing forest soils for sustainable productivity*. Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo. Vila Real. Portugal. pp. 37-38.
- Salgueiro, T.A. 1973. A contribuição das azinheiras e dos sobreiros para a fertilidade do solo. *Estudos* 1. Fundo de Fomento Florestal. Lisboa.
- Sapinsky, S. 2001. *Auswirkungen von Bewirtschaftungsänderungen auf die Bestandesstruktur, das Lichtklima und die Austanschprozesse (H₂O, CO₂) zwischen Bestand und Atmosphäre von Graslandökosystemen im Stubaital (Nordtirol, 1900m NN) und Passeiertal (Sudtirol, 1770m NN)*. Dissertation zur Erlangung des akademischen titels einer Doktorin an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck. Österreich.
- Sassenrath-Cole, G.F. 1995. Dependence of canopy light distribution on leaf and canopy structure for two cotton (*Gossypium*) species. *Agricultural and Forest meteorology* 77: 55-72.
- Schlesinger, W.H. 1985. Decomposition of chaparral shrub foliage. *Ecology* 66(4): 1353-1359.
- Schlesinger, W.H., Raikes, J.A., Hartley, A.E. & Cross, A.F. 1996. On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems. *Ecology* 77: 364-374.
- Scholes, R.J. & Archer, S.R. 1997. Tree-grass interactions in savannahs. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 28: 517-544.

- Schomberg, H.H., Steiner, J.L. & Unger, P.W. 1994. Decomposition and nitrogen dynamics of crop residues: residue quality and water effects. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **58**: 372-381.
- Schuurman, J. & Goedewaagen, M. 1971. *Methods for the examination of root systems and roots*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation. Wageningen. Holland.
- Simon, M.R. 1992. Root length/leaf ratios of chalk grassland perennials and their importance for competitive interactions. *Journal of Vegetation Science* **3**: 665-672.
- Singh, J.S. & Coleman D.C. 1974. Distribution of photo-assimilated carbon in the root system of a shortgrass prairie. *J. Ecol.* **62**: 359-366.
- Smith, H. 1982. Light quality, photoperception, and plant strategy. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **33**: 481-518.
- Sokal, R.R. & Rohlf, F.J. 1995. *Biometry*, Third edition, W. H. Freeman and Company, New York. U.S.A.
- Somarriba, E. 1988. Pasture growth and floristic composition under the shade of guava (*Psidium guajava* L.) trees in Costa Rica. *Agroforestry Systems* **6**: 153-162.
- Stuart-Hill, G.C., Tainton, N.M., & Barnard, H.J. 1987. The influence of an *Acacia* karoo tree on grass production in its vicinity. *Journal of the Grassland Society of South Africa* **4**: 83-88.
- Svějcar, T.J. & Boutton, T.W. 1985. The use of stable carbon isotope analysis in rooting studies. *Oecologia* **67**: 205-208.
- Swift, M.J., Heal, O.W. & Anderson, J.M. 1979. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Blackwell, Oxford. U.K.
- Taiz, L. & Zeiger, E. 1998. *Plant Physiology*. (2^a. ed.). Sinauer Associates Inc. Publ. Sydney. Australia.
- Tappeiner, U. 1985. *Bestandesstruktur, Mikroklima und Energiehaushalt einer naturnahen Almweide und einer begrünter Schipistenplanierung im Gasteiner Tal*. Dissertation, Universität Innsbruck. Österreich.
- Tappeiner, U. & Cernusca, A. 1989. Canopy structure and light climate of different alpine plant communities: Analysis by means of a model. *Theoretical and applied climatology* **40**: 81-92.
- Tappeiner, U. & Cernusca, A. 1998. Model simulation of spatial distribution of photosynthesis in structurally differing plant communities in the Central Caucasus. *Ecological Modelling* **113**: 201-223.
- Tasser, E., Prock, S. & Mulser, J. 1999. The impact of land-use on vegetation along the Eastern Alpine transect. In: A. Cernusca, U. Tappeiner & N. Bayfield (eds.). *Land-use*

Changes in European Mountain Ecosystems. ECOMONT Concept and Results.
Blackwell Wissenschafts-Verlag. Berlin. Germany.

- Thomas, R.J. & Asakawa, N.M. 1993. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biology and Biochemistry* **25**: 1351-1361.
- Titlyanova, A.A. & Bazilevich, N.I. 1979. Nutrient cycling. In: R.T. Coupland (ed.). *Grassland ecosystems of the world: analysis of grasslands and their uses*. **18**. International Biological Programme. Cambridge University Press. London. U.K. First edition. pp. 170-180.
- Tutin, T.G., Heywood, V.H., Burges, N.A., Moore, D.M., Valentine, O.H., Walters, S.M. & Webb, O.A. eds. 1990. *Flora Europaea*. Volume IV, First edition, Cambridge. U.K.
- Tutin, T.G., Heywood, V.H., Burges, N.A., Moore, D.M., Valentine, D.H., Walters, S.M. & Webb, D.A. eds. 1991. *Flora Europaea*. Volume V, First edition, Cambridge. U.K.
- Tutin, T.G., Heywood, V.H., Burges, N.A., Moore, D.M., Valentine, O.H., Walters, S.M. & Webb, O.A. eds. 1992. *Flora Europaea*. Volume III, First edition, Cambridge. U.K.
- Tutin, T.G., Heywood, V.H., Burges, N.A., Moore, D.M., Valentine, D.H., Walters, S.M. & Webb, D.A. eds. 1996. *Flora Europaea*. Volume I, Second edition, Cambridge. U.K.
- Tutin, T.G., Heywood, V.H., Burges, N.A., Moore, D.M., Valentine, D.H., Walters, S.M. & Webb, D.A. eds. 1996a. *Flora Europaea*. Volume II, First edition, Cambridge. U.K.
- Van Auken, O.W. & Bush, J.K. 1989. *Prosopis glandulosa* growth: influence of nutrients and simulated grazing of *Bouteloua curtipendula*. *Ecology* **75**: 782-789.
- Van der Maarel, E. & Titlyanova, A. 1989. Above-ground and below-ground biomass relations in steppes under different grazing conditions. *Oikos* **56**: 364-370.
- Van Soest, P.J. 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal of the Association of Official Analytical Chemistry* **49**: 546-551.
- Van Wesemael, B. 1993. Litter decomposition and nutrient distribution in humus profiles in some mediterranean forests in southern Tuscany. *Forest Ecology and Management* **57**: 99-114.
- Vetaas, O. R. 1992. Micro-site effects of trees and shrubs in dry savannas. *Journal of Vegetation Science* **3**: 337-344.
- Walker, B. H., & Noy-Meir, I. 1982. Aspects of the stability and resilience of savanna ecosystem. In: B. J. Huntley & B. H. Walker (eds.). *Ecology of tropical savannas*. Springer-Verlag. New York. U.S.A. pp. 556-590.

- Walker, J., Robertson, J. A., Penridge, L. A., & Sharpe, P. J. H. 1986. Herbage response to tree thinning in a *Eucalyptus crebra* woodland. *Australian Journal of Ecology* 11: 135-140.
- Walter, H. 1971. *Ecology of tropical and subtropical vegetation*. Oliver and Boyd, Edinburgh, Scotland. U.K.
- Wariishi, H., Valli, K. & Gold, M.H. 1991. *In vitro* depolymerization of lignin by manganese peroxidase of *Phanerochaete chrysosporium*. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 176: 269-275.
- Warren, J. 1967. Stand structure and light penetration. III. Sunlight foliage area. *J. Appl. Ecol.* 4: 159-165.
- Watanable, F.S. & Olsen, S.R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorous in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Society of America Proceedings* 29: 677-678.
- Weltzin, J.R. & Coughenour, M.B. 1990. Savanna tree influence on understory vegetation and soil nutrients in northwestern Kenya. *Journal of Vegetation Science* 1: 325-332.
- Young, A. 1989. *Agroforestry for soil conservation*. International Council for Research in Agroforestry. Nairobi. Kenya.
- Zar, J. H. 1999. *Biostatistical analysis*. 4th ed. Prentice-Hall, Inc. New Jersey. U.S.A.
- Zeller, V., Bahn, M., Aichner, M., & Tappeiner, U. 2000. Impact of land-use change on nitrogen mineralization in subalpine grassland in the Southern Alps. *Biol. Fertil Soils* 31: 441-448.