

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

Interacção solo - árvore isolada em montados de azinho

(*Quercus rotundifolia* Lam.): processos fundamentais

JORGE MANUEL DA SILVA DELGADO NUNES

Orientador : Professor Doutor Manuel Armando Valeriano Madeira

Co-orientador : Professor Doutor Luís Carlos Gazarini

Esta tese não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri

ÉVORA

2004

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

**Interacção solo - árvore isolada em montados de azinho
(*Quercus rotundifolia* Lam.): processos fundamentais**

JORGE MANUEL DA SILVA DELGADO NUNES

Dissertação apresentada à Universidade
de Évora para a obtenção do grau de
Doutor em Biologia

Orientador : Professor Doutor Manuel Armando Valeriano Madeira

Co-orientador : Professor Doutor Luís Carlos Gazarini



169708

Esta tese não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri

ÉVORA

2004

Este trabalho foi financiado por:

- Programa PRAXIS XXI/ BD/ 18451/ 98
- Projecto INIA/PAMAF-4005-95 - “Ecologia dos montados de *Quercus suber* e *Quercus rotundifolia*: intercepção, transpiração, ciclo de nutrientes e vegetação espontânea”.
- Projecto PRAXIS XXI-3/3.2/Agr/2187/95 - “Processos hídricos, pedológicos e biológicos em montados de *Quercus suber* e *Quercus rotundifolia*”.
- Projecto INIA/PAMAF-8004-97 – “Efeito de acções antrópicas na dinâmica de comunidades em áreas de montado – Relações Solo-Flora-Fauna”.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Manuel Madeira, do Departamento de Ciências do Ambiente do Instituto Superior de Agronomia, pela sugestão deste tema de trabalho e por ter aceite a sua orientação científica, agradeço o esclarecimento de todas as dúvidas surgidas, as sugestões feitas para a sua correcta execução, sem esquecer a elevada disponibilidade e paciência sempre manifestadas ao longo da sua realização

Ao Professor Luís Carlos Gazarini, do Departamento de Biologia da Universidade de Évora, meu co-orientador, agradeço o ter-me proporcionado, dentro desta instituição, todas as condições necessárias à realização deste estudo e a forma inexcedível como sempre me apoiou durante a realização do mesmo, bem como a disponibilidade e amizade demonstradas.

Ao Professor Jorge Soares David, do Departamento de Engenharia Florestal do Instituto Superior de Agronomia, como responsável dos projectos "Ecologia dos montados de *Quercus suber* e *Quercus rotundifolia*: intercepção, transpiração, ciclo de nutrientes e vegetação espontânea" (PAMAF-4005-95) e "Processos hídricos, pedológicos e biológicos em montados de *Quercus suber* e *Quercus rotundifolia*" (Programa PRAXIS XXI-3/3.2/Agr/2187/95) agradeceço o facto de ter permitido o recurso aos dispositivos experimentais instalados, na realização de parte do trabalho experimental, sem esquecer todos os esclarecimentos e sugestões transmitidas.

À Eng.^a Teresa Soares David, da Estação Florestal Nacional, agradeço toda a ajuda e apoio dispensados no decorrer dos trabalhos de campo, a disponibilização de toda a informação de carácter quantitativo sobre a precipitação e, ainda, as trocas de impressões que o trabalho em equipa proporcionou.

Ao Professor Francisco Abreu, pelo apoio prestado à realização dos estudos microclimáticos, pela cedência de bibliografia, bem como pelas sugestões e esclarecimentos prestados.

Ao Professor Manuel Madeira, Presidente do Departamento de Ciências do Ambiente do Instituto Superior de Agronomia, agradeço o facto de ter permitido a realização de todas as análises necessárias à efectivação deste estudo no Laboratório de Solos do referido Departamento. Às técnicas do Laboratório de Solos, Sras. D. Ana Maria Batista, D. Isabel Balsemão, D. Maria João Respício e D. Maria de Lurdes Canilho, agradeço a ajuda cedida na caracterização analítica dos materiais estudados.

À Professora Maria do Rosário Oliveira, responsável pelo Laboratório de Física dos Solos/ICAM do Departamento de Fitotecnia da Universidade de Évora, agradeço a disponibilidade demonstrada para a realização de um conjunto de actividades fundamentais na realização deste trabalho. Uma palavra especial à Eng.^a Helena Carolino e Sras. D. Elizete e D. Maria das Dores, pelo apoio prestado no âmbito dos trabalhos executados nesse laboratório

À Professora Maria João Cabrita, responsável pelo Laboratório de Enologia/ICAM da Universidade de Évora, agradeço a criação nesse laboratório das condições necessárias à realização da extração dos Azotos.

À Professora Manuela Moraes, responsável pelo Laboratório de Análises de Águas do Centro de Ecologia Aplicada da Universidade de Évora, agradeço a disponibilidade

demonstrada para a execução das análises de anões nas soluções de precipitação e de solo.

Ao Professor Alfredo Gonçalves Ferreira, responsável pelo Laboratório de Hidrologia/ICAM do Departamento de Engenharia Rural da Universidade de Évora, agradeço todo o apoio logístico prestado na caracterização física dos solo, principalmente no referente à permeabilidade.

Ao Professor Mário de Carvalho, do Departamento de Fitotecnia da Universidade de Évora, agradeço a cedência do permeâmetro de Guelph e do medidor portátil de humidade do solo.

Ao Professor Ricardo Serralheiro, do Departamento de Engenharia Rural da Universidade de Évora, agradeço o apoio, as sugestões e os esclarecimentos, no âmbito dos trabalhos de determinação da conductividade hidráulica do solo.

Ao Professor Nuno Cortez, do Departamento de Ciências do Ambiente do Instituto Superior de Agronomia, quero agradecer todo o apoio demonstrado durante a realização das análises por cromatografia, bem como todas as sugestões e auxílio bibliográfico que me ajudaram a chegar até aqui. Uma especial referência à amizade que este trabalho permitiu encetar.

À Professora Dalila Espírito Santo, do Instituto Superior de Agronomia e à Dr.^a. Carla Cruz, do Departamento de Biologia da Universidade de Évora, manifesto o meu agradecimento pela ajuda dispensada na caracterização fitossociológica do local do ensaio.

Ao Dr. Luis Silva Dias, do Departamento de Biologia da Universidade de Évora, agradeço toda a sua disponibilidade no esclarecimento de todas as dúvidas estatísticas.

À Dra. Paula Simões quero agradecer as incontáveis ajudas, trocas de ideias, correcções e, claro, a grande amizade e apoio que sempre demonstrou.

À Eng.^a Anabela Belo e às Dr.^{as}. Carla Cruz, Celeste Sá e Isabel Pereira, do Departamento de Biologia da Universidade de Évora, agradeço todo o apoio concedido nas várias fases da realização deste estudo, a amizade e o excelente ambiente de trabalho proporcionado dentro e fora do Laboratório de Botânica.

Ao Eng.^º Manuel Brandão, do Departamento de Fitotecnia da Universidade de Évora, agradeço a disponibilidade e o auxílio, nomeadamente no esclarecimento de dúvidas durante a execução das actividades de campo para a caracterização física dos solos.

Aos Srs. Jorge Velez e José Rato, e às Sras. D. Anabela Engeitado e D. Ana Valério, do Laboratório de Botânica/ICAM do Departamento de Biologia da Universidade de Évora, quero agradecer a indispensável ajuda facultada na recolha e preparação de amostras dos materiais estudados, bem como na preparação dos materiais usados nas colheitas das amostras de precipitação.

Aos Srs. Henrique Miguel e Joaquim Mendes, do Departamento de Engenharia Florestal do Instituto Superior de Agronomia, agradeço a imprescindível ajuda, prestada na recolha das amostras de precipitação, bem como na execução das mais diversas tarefas nas parcelas experimentais.

Quero, ainda, expressar o meu agradecimento à Sra. D. Maria Cristina Neves, do Departamento de Ciências do Ambiente do Instituto Superior de Agronomia, à Sra., D. Mariana Bruno, da Área Departamental de Ciências da Natureza e Ambiente da

Universidade de Évora, e às Sras. D. Maria da Conceição Baltazar e D. Maria José Gomes, do Departamento de Biologia da Universidade de Évora, pelo seu contributo na resolução de certos problemas práticos, que em muito ajudaram à conclusão deste trabalho.

Finalmente, uma palavra de eterna gratidão pelo apoio demonstrado pela minha família, principalmente a minha esposa e os meus filhos, Duarte e Catarina, pelo tempo que deixei de estar com eles.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
ÍNDICE	v
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
LISTA DE SÍMBOLOS, UNIDADES E ABREVIATURAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE QUADROS	xxi
1 INTRODUÇÃO	1
2 METODOLOGIA	7
2.1 ÁREA E SISTEMAS EXPERIMENTAIS	7
2.1.1 Localização	7
2.1.2 Clima	8
2.1.3 Geomorfologia/Litologia	12
2.1.4 Solos	13
2.1.5 Vegetação	14
2.1.6 Localização e instalação das parcelas de estudo	16
2.2 DETERMINAÇÕES E AMOSTRAGENS	19
2.2.1 Fluxo de nutrientes	19
2.2.1.1 Precipitação bruta diária	20
2.2.1.2 Precipitação bruta acumulada	20
2.2.1.3 Gotejo	20
2.2.1.4 Escorrimento ao longo do tronco	22
2.2.1.5 Solução do solo	23
2.2.2 Ambiente físico sob e fora da acção da copa das árvores	25
2.2.2.1 Radiação solar	25
2.2.2.2 Radiação fotossintéticamente activa	25
2.2.2.3 Temperatura do solo	26
2.2.2.4 Humidade do solo	26
2.2.3 Efeito da copa de <i>Quercus rotundifolia</i> nas características físicas e químicas do solo	28
2.2.3.1 Horizontes orgânicos	28
2.2.3.2 Massa volémica aparente	28
2.2.3.3 Curvas de tensão de humidade	28
2.2.3.4 Infiltração <i>in situ</i>	29
2.2.3.5 Caracterização química	30
2.2.4 Dinâmica do azoto e respiração do solo	30
2.2.4.1 Variação temporal e espacial da mineralização do azoto	30
2.2.4.1.1 Mineralização sequencial do azoto <i>in situ</i>	30
2.2.4.1.2 Incubações controladas em laboratório e no campo	32
2.2.4.2 Variação temporal e espacial da respiração do solo	33
2.2.5 Efeito da copa de <i>Quercus rotundifolia</i> na produtividade e composição química da vegetação herbácea do sob coberto,	

em resultado das alterações da radiação e da disponibilidade em água e nutrientes	34
2.2.5.1 Sistema experimental	34
2.2.5.2 Amostragem	36
2.3 Métodos Laboratoriais	36
2.3.1 Medições	36
2.3.2 Preparação das amostras para análise	36
2.3.2.1 Soluções	36
2.3.2.2 Materiais orgânicos	37
2.3.2.3 Materiais terrosos	37
2.3.3 Métodos analíticos	38
2.3.3.1 Soluções	38
2.3.3.2 Materiais orgânicos	38
2.3.3.3 Materiais terrosos	39
2.4 Cálculos e Métodos Estatísticos	40
2.4.1 Fluxo de nutrientes	40
2.4.2 Ambiente físico sob e fora da acção da copa das árvores	43
2.4.3 Efeito da copa de <i>Quercus rotundifolia</i> nas características físicas e químicas do solo	44
2.4.4 Dinâmica do azoto e respiração do solo	45
2.4.5 Efeito da copa de <i>Quercus rotundifolia</i> na produtividade e composição química da vegetação herbácea do sob coberto, em resultado das alterações da radiação e da disponibilidade em água e nutrientes	48
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
3.1 Fluxo de nutrientes	49
3.1.1 Caracterização química da precipitação bruta, do gotejo e do escorrimento ao longo do tronco	49
3.1.1.1 pH	51
3.1.1.2 Catiões básicos	52
3.1.1.3 Amónio e nitrato	54
3.1.1.4 Aniões – fosfato, cloreto e sulfato	57
3.1.1.5 Relação entre as concentrações iónicas	59
3.1.1.6 Relação entre as concentrações iónicas e os volumes de precipitação	67
3.1.1.7 Variação das concentrações iónicas com a distância ao tronco	74
3.1.2 Fluxos de nutrientes nas soluções de precipitação	75
3.1.2.1 Variação do fluxos com o volume de precipitação	81
3.1.3 Caracterização da solução do solo	86
3.1.3.1 Solução de drenagem	86
3.1.3.2 Solução de succção	94
3.1.4 . Conclusões	100
3.2 . Ambiente físico sob e fora da acção da copa das árvores	101
3.2.1 Radiação fotossinteticamente activa	102
3.2.2 Radiação solar global (G)	105
3.2.3 Temperatura do solo	109
3.2.4 Conclusões	117

3.3 Efeito da copa de <i>Quercus rotundifolia</i> nas características físicas e químicas do solo	119
3.3.1 Camadas orgânicas e quantidade de nutrientes retidos	120
3.3.2 Permeabilidade do solo	123
3.3.3 Teor de humidade do solo	124
3.3.4 Massa volêmica aparente do solo	128
3.3.5 Curvas de tensão de humidade	130
3.3.6 Características químicas do solo	133
3.3.7 Conclusões	144
3.4 Dinâmica do N e respiração do solo	145
3.4.1 N e C totais do solo	146
3.4.2 Efeito das árvores (<i>Quercus rotundifolia</i>) na disponibilidade de azoto no solo	147
3.4.2.1 Variação da concentração de N ($N[NH_4^+]$ e $N[NO_3^-]$) mineral no solo	147
3.4.2.2 Mineralização de N ($N[NH_4^+]$ e $N[NO_3^-]$) <i>in situ</i>	153
3.4.2.3 Lixiviação de N ($N[NH_4^+]$ e $N[NO_3^-]$)	160
3.4.2.4 Absorção de N ($N[NH_4^+]$ e $N[NO_3^-]$)	163
3.4.2.5 Mineralização do N ($N[NH_4^+]$ e $N[NO_3^-]$) do solo em situação controlada	168
3.4.3 Efeito do sombreamento artificial na disponibilidade em azoto	174
3.4.3.1 Variação da concentração de N ($N[NH_4^+]$ e $N[NO_3^-]$) mineral no solo	174
3.4.3.2 Mineralização de N ($N[NH_4^+]$ e $N[NO_3^-]$) <i>in situ</i>	176
3.4.3.3 Lixiviação de N ($N[NH_4^+]$ e $N[NO_3^-]$)	180
3.4.3.4 Absorção de N ($N[NH_4^+]$ e $N[NO_3^-]$)	181
3.4.4 Efeito da copa de <i>Quercus rotundifolia</i> na taxa da respiração do solo	184
3.4.5 Conclusões	187
3.5 Efeito da copa de <i>Quercus rotundifolia</i> na produtividade e composição química da vegetação herbácea do sob coberto, em resultado das alterações da radiação e da disponibilidade em água e nutrientes	189
3.5.1 Produção de biomassa	190
3.5.1.1 Fitomassa total	190
3.5.1.2 Índice de área foliar (LAI)	196
3.5.1.3 Razão do peso foliar (LWR)	198
3.5.2 Concentração de nutrientes na biomassa	200
3.5.3 . Quantidade de nutrientes na biomassa	204
3.5.4 . Conclusões	208
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	211
BIBLIOGRAFIA	215
ANEXOS	233

RESUMO

Foram estudados, na região de Évora, em montados de *Quercus rotundifolia* Lam., os componentes dos ciclos de nutrientes relativos à precipitação, no período entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000. A quantidade de precipitação bruta, de gotejo (a diferentes distâncias do tronco da árvore) e de escorrimento ao longo do tronco foi registada de forma contínua, colhendo-se semanalmente amostras para a sua caracterização química.

Os parâmetros do microclima (radiação global, radiação fotossintéticamente activa, temperatura do ar e do solo) foram monitorizadas nas áreas sob e fora da influência da copa das árvores.

As características físicas e químicas do solo das áreas dentro e fora da projecção vertical da copa de *Quercus rotundifolia* foram estudadas num montado disperso, quantificando-se simultaneamente as camadas orgânicas. As amostragens foram efectuadas a diferentes distâncias relativamente ao tronco das árvores, segundo os eixos cardinais.

A mineralização do azoto do solo foi estudada nas áreas sob e fora da acção do coberto, avaliando-se a disponibilidade do N no campo, por intermédio da técnica da mineralização sequencial *in situ* e, em laboratório, recorrendo a incubações aeróbias e anaeróbias. O efluxo de CO₂ do solo dessas áreas foi também quantificado. Avaliou-se, por fim, a acção da copa de *Quercus rotundifolia* na produção da vegetação herbácea, durante um período de dois anos.

Verificou-se um acréscimo da concentração iónica no gotejo em relação à precipitação bruta, o qual foi ainda mais manifesto no escorrimento ao longo do tronco. Simultaneamente, a concentração das diferentes espécies iónicas apresentou uma diferenciação horizontal, comprovada por um decréscimo significativo desta, com o aumento da distância ao tronco. Os fluxos médios anuais de Ca, Mg, Na, K, N [NH₄⁺], N [NO₃⁻], P, Cl e S [SO₄²⁻] na precipitação bruta foram, respectivamente, 3,5, 1,8, 8,7, 4,0, 0,8, 2,8, 2,1, 17,9 e 3,9 kg ha⁻¹. Os valores respeitantes ao gotejo atingiram 21,1, 6,5, 22,4, 38,4, 1,4, 4,2, 5,4, 54,2 e 7,1 kg ha⁻¹. Os fluxos inerentes ao escorrimento ao longo do tronco variaram com a área considerada sob influência desta solução, relativamente ao tronco da árvore.

A intercepção pela copa de *Quercus rotundifolia* da radiação solar global e da radiação fotossintéticamente activa, atingiu valores entre 75 a 90 % consoante a época do ano. A temperatura do solo fora da acção da copa das árvores foi em geral superior à das áreas sob a copa, chegando a atingir no Inverno o dobro do valor.

A massa das camadas orgânicas decresceu significativamente das distâncias mais próximas do tronco ($3,83\text{ t ha}^{-1}$) para a distância correspondente ao limite da projecção da copa das árvores ($1,77\text{ t ha}^{-1}$), bem como em relação às distâncias situadas para além deste ($0,45\text{ t ha}^{-1}$). A massa volúmica aparente do solo das áreas do sob coberto, à profundidade 0-5, diferenciou-se significativamente da do solo das áreas fora deste. O teor de humidade do solo à superfície tendeu, por um lado, a decrescer mais rapidamente nas zonas fora da acção da copa das árvores e, por outro, a restabelecer-se mais rapidamente nestas mesmas áreas. Os teores do solo em C orgânico e N foram significativamente mais elevados nas áreas sob as copas das árvores do que naquelas fora da influência destas. Tendência semelhante foi apresentada pelo teor de bases de troca (Ca, Mg e K) e de K e P extractáveis. Estes teores, bem como os de C orgânico e N, decresceram da proximidade do tronco para o limite da projecção vertical da copa. O Mg de troca e o valor de pH não apresentaram qualquer diferenciação devido à presença das árvores.

A mineralização do N do solo foi mais importante à profundidade dos 0-10 cm, tendo sido significativamente superior nas áreas do sob coberto, relativamente às áreas fora da sua acção. A mineralização acumulada de N foi de $128,62\text{ kg ha}^{-1}$ no solo das áreas fora da copa e de $166,69\text{ kg ha}^{-1}$ nas áreas do sob coberto. O efluxo de CO_2 do solo nas áreas do sob coberto de *Q. rotundifolia* foi cerca do dobro do efluxo registado nas áreas fora da acção da copa.

A produção anual média de biomassa herbácea foi de $343,10\text{ g m}^{-2}$ nas áreas fora do coberto de *Q. rotundifolia*, de $109,34\text{ g m}^{-2}$ nas áreas do sob coberto e de $124,59\text{ g m}^{-2}$ com radiação reduzida artificialmente. Os teores em N, P, K, Mg, Mn e Ca da biomassa herbácea foram em geral superiores nos tratamentos com redução de radiação.

A presença de árvores de *Quercus rotundifolia* Lam. modifica as condições as físicas, químicas e biológicas das áreas do sob coberto, relativamente às áreas circundantes. Tal facto, dá origem a ilhas de fertilidade e qualidade do solo, e consequentemente coloca a necessidade de uma gestão mais criteriosa das áreas de montado, diferenciando zonas sob e fora do coberto.

Palavras-chave: *Quercus rotundifolia* Lam, gotejo, escorrimento ao longo do tronco, microclima, interacção árvore-solo, mineralização de azoto, interacção árvore-herbáceas

ABSTRACT

Nutrient cycling in *Quercus rotundifolia* Lam. systems, regarding precipitation was studied at Évora (Southern Portugal), since November of 1996 until December of 2000. The amounts of gross rainfall, throughfall (at different distances from the tree trunk) and stemflow were measured continuously and samples for chemical analysis were collected weekly. The microclimatic characteristics (soil moisture, G, PAR and air and soil temperature) were also monitored both under and outside the influence of the tree canopies. Soil physical and chemical characteristics, underneath and outside *Quercus rotundifolia* canopies, were studied in areas where trees commonly are wide spaced. The amounts of the forest floor litter layer were also evaluated. Nitrogen transformation was examined under and outside the influence of the tree canopies. Nitrogen availability was examined in anaerobic and aerobic incubations in the laboratory, and with de sequential in situ incubation method in the field. Soil CO₂ efflux was evaluated under and outside the influence of the tree canopies. The influence of *Quercus rotundifolia* trees on biomass production of the herbaceous vegetation was studied.

The concentration of nutrients was higher in the throughfall than in the gross rainfall, especially in the areas closer to the tree trunk. The highest concentration of nutrients was observed in the stemflow water. Ion concentrations in throughfall showed a negative significant relationship with the distance to the tree trunk. The annual amounts of Ca, Mg, Na, K, P, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, Cl and S-SO₄²⁻ returned to the soil through gross rainfall were, respectively, 3.5, 1.8, 8.7, 4.0, 0.8, 2.8, 2.1, 17.9 and 3.9 kg ha⁻¹. The amounts regarding throughfall were 21.1, 6.5, 22.4, 38.4, 1.4, 4.2, 5.4, 54.2 and 7.1 kg ha⁻¹. The quantity of nutrients carried by the stemflow was small, but with a strong influence in areas close to tree trunk.

G and PAR radiation was intercepted around 75 to 90 % by the canopy depending on the time of the year, and showed significant diurnal differences between inside and outside the canopy. Soil temperature was higher in areas without canopy, especially in winter.

The forest floor litter layer mass decreased, from 3.2 t ha⁻¹, close to the trunk, to 1.6 t ha⁻¹, at the canopy projection limit. Soil Bulk density increase with increasing distance to the tree trunk. Soil moisture tended to decrease and refill faster in areas without canopy influence. Soil C and N concentrations were higher beneath the tree canopies than in the areas outside their influence. Similar tendency was observed for the exchangeable base cations (Ca, Mg and K) and for extractable K and P. These values decreased from the areas close to the trunk to

those located at the canopy projection limit. Both pH values and exchangeable Mg values were not influenced by the tree canopies.

Net N mineralization occurred mainly in the 0-10 cm of the soil layer, and was higher under *Quercus rotundifolia* canopy. Total net N mineralization was 128.62 kg ha⁻¹ outside trees canopy and 166.69 kg ha⁻¹ under tree canopy. Soil CO₂ efflux under *Quercus rotundifolia* double the efflux measured outside tree canopy.

Mean annual biomass production of the herbaceous layer was 343.10 g m⁻² for the control, 109.34 g m⁻² for the areas located under the tree canopies and 124.59 g m⁻² for the areas with artificial shadow. In general the biomass N, P, K, Ca, Mg e Mn content was higher in the micro-plots with radiation decrease, under either the tree canopies or artificial shadow, in comparison to those without shadow influence.

Results from our studies show that *Quercus rotundifolia* trees create islands of enhanced soil quality and fertility. Because Holm oak trees play many beneficial roles in the ecosystem, land managers should considerer oak conservation in managing Portuguese “montados”.

Keywords: *Quercus rotundifolia* Lam, troughfall, stemflow, microclimate, tree-soil interactions, net N mineralization, tree-grasses interactions

LISTA DE SÍMBOLOS, UNIDADES E ABREVIATURAS

Símbolo/ Abreviatura	Definição	Unidade
ET	escorrimento ao longo do tronco	$L\ m^2$
CAU	capacidade de água utilizável	$g\ 100\ g^{-1}$
G	radiação solar global	$w\ m^{-2}$
GO	gotejo	$L\ m^2$
GL	gotejo líquido	$kg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$
K_s	conductividade hidráulica saturada	$cm\ h^{-1}$
LAI	índice de área foliar (<i>leaf area index</i>)	
LWR	razão de área foliar (<i>leaf weight ratio</i>)	
PAR	radiação fotossintéticamente activa (<i>photosynthetic active radiation</i>)	$\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$
PB	precipitação bruta	$L\ m^{-2}$
pF	logaritmo da altura em cm da coluna de água que exerce pressão equivalente à força de retenção ou atracção do solo para a água	$g\ 100\ g^{-1}$

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.1 Implantação da Herdade da Mitra na Carta Militar de Portugal (1:25.000), Folha 459, Valverde – Évora.	7
Figura 2.1.2 Temperaturas (T) médias mensais (—●— diária, ---●--- máxima e ---○--- mínima) na Estação Meteorológica ÉVORA/Mitra, para o período de 1958-88 (http://agricultura.isa.utl.pt/agricultura/agribase/estações.asp).	8
Figura 2.1.3 Diagrama pluviotérmico da Estação Meteorológica ÉVORA/Mitra, para o período de 1958-88 (http://agricultura.isa.utl.pt/agricultura/agribase/estações.asp).P – precipitação; T -temperatura.	9
Figura 2.1.4 Balanço Hídrico da Estação Meteorológica ÉVORA/Mitra para o período de 1958-88, para uma capacidade utilizável do solo de 100 mm. DV- devolução de água ao solo; DF- deficiência de água no solo; CD – cedência de água pelo solo; EX – excesso de água.	10
Figura 2.1.5 Valores totais mensais de precipitação observados na estação meteorológica da parcela I de 1997 a 2002 comparados com os valores médios da Estação Meteorológica ÉVORA/Mitra para o período de 1958-1988	11
Figura 2.1.6 Variação das médias mensais da temperatura do ar observadas na estação meteorológica da parcela I de 1997 a 2002, comparadas com os valores médios da Estação Meteorológica ÉVORA/Mitra para o período de 1958-1988	12
Figura 2.1.7 Implantação da Herdade da Mitra na Carta Geológica de Portugal (Escala 1:50.000), Folha 40-A, Évora.	13
Figura 2.1.8 Implantação da Herdade da Mitra na Carta dos Solos de Portugal (Escala 1:50.000), Folha 40-A, Évora.	14
Figura 2.1.9 Planta da Herdade da Mitra (C.E.E.M.), onde se sinaliza a localização das parcelas de estudo (parcelas I ■ e II □, parcela III ▲, parcela IV ▢).	16
Figura 2.1.10 Aspecto geral da parcela I, com destaque para a azinheira onde se centraram os estudos da precipitação sob coberto.	17
Figura 2.2.1 Disposição da rede udométrica/udográfica relativamente ao centro e à copa da árvore estudada. Os círculos mais reduzidos identificam udómetros e os maiores, udógrafos T-torre (David, 2000).	19
Figura 2.2.2 Pormenor da torre (A) onde se instalaram os udómetros e o funil ligado ao udógrafo para quantificação da precipitação bruta; do sistema (B) de udógrafos (seta encarnada) e udómetros (seta amarela) para quantificação do gotejo; e de um udómetro (C).	21
Figura 2.2.3 Aspecto parcial da parcela I, com destaque para o dispositivo de recolha do escorrimento ao longo do tronco.	22
Figura 2.2.4 Aspecto parcial da parcela II, com destaque para os dispositivos de colheita de solução de solo por gravidade.	24
Figura 2.2.5 Aspecto parcial da parcela II, com destaque para os dispositivos de recolha de solução de solo por sucção.	24
Figura 2.2.6 Aspecto parcial das parcelas II (A e B), III (C) e IV (D e E), com destaque para os dispositivos de recolha de dados referentes aos parâmetros físicos estudados, bem como de um Data Logger da Delta-T (F).	27
Figura 2.2.7 Aspecto parcial da parcela II, com destaque para duas sondas <i>theta-probe</i> da Delta-T, utilizadas na medição da humidade do solo, na área sob o coberto arbóreo (A) e na área fora da acção da copa das árvores (B).	27

Figura 2.2.8 Aspecto parcial da parcela III, com destaque para o permeâmetro de Guelph (A) e o infiltrômetro de disco (B), utilizados na determinação da infiltração <i>in situ</i> .	29
Figura 2.2.9 Aspecto parcial da parcela III, com destaque para dois conjuntos de tubos utilizados na mineralização sequencial <i>in situ</i> , nas áreas fora da acção da copa das árvores (A) e do sob coberto (B). É identificável na imagem o tubo com a extremidade coberta, ao centro, situando-se à sua direita o tubo que era colhido de imediato, e à sua esquerda o tubo com a extremidade descoberta, e que permanecia a incubar.	31
Figura 2.2.10 Aspecto parcial da parcela III, com destaque para a câmara de solo modelo 6400-09 (A) e para o anel de PVC (B), utilizados na medição do efluxo de CO ₂ do solo	33
Figura 2.2.11 Aspecto parcial da parcela IV, com destaque para as parcelas fertilizadas e regadas (A), fertilizadas e regadas no sob coberto (B) e sem fertilização nem rega no sob coberto (C). São também destacados os dispositivos de sombreamento (D)	35
Figura 3.1.1 Valores médios (%) das devoluções marinhas [■] e não marinhas [] de Cl ⁻ , Na ⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ e S- SO ₄ ²⁻ , na precipitação bruta para o período 1997 a 2000	52
Figura 3.1.2 Dendograma da análise de Cluster realizada pelo método de Ward entre os coeficientes de correlação dos principais iões da precipitação bruta (PB), para o período 1997 a 2000	60
Figura 3.1.3 Dendograma da análise de Cluster realizada pelo método de Ward entre os coeficientes de correlação dos principais iões do gotejo (GO), para o período 1997 a 2000	65
Figura 3.1.4 Dendograma da análise de Cluster realizada pelo método de Ward entre os coeficientes de correlação dos principais iões do escorrimento ao longo do tronco (ELT), para o período 1997 a 2000	65
Figura 3.1.5 Relação entre as quantidades de precipitação bruta (PB) e os valores de pH e as concentrações ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , Cl ⁻ e SO ₄ ²⁻ determinados entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000	69
Figura 3.1.6 Relação entre as quantidades de gotejo (GO) e os valores de pH e das concentrações ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , Cl ⁻ e SO ₄ ²⁻ determinados entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000	71
Figura 3.1.7 Relação entre as quantidades de escorrimento ao longo dos troncos (ET) e os valores de pH e das concentrações ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , Cl ⁻ e SO ₄ ²⁻ determinados entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000	73
Figura 3.1.8 Fluxos mensais de N (N[NH ₄ ⁺] e N[NO ₃ ⁻]), de Ca, e de S[SO ₄ ²⁻] no gotejo líquido entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000	80
Figura 3.1.9 Relação entre as quantidades de precipitação bruta e os fluxos (kg ha ⁻¹) de H, Ca, Mg, Na, K, N de NH ₄ ⁺ e de NO ₃ ⁻ , P, Cl e S determinados entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000	83
Figura 3.1.10 Relação entre as quantidades de gotejo e os fluxos (kg ha ⁻¹) de H, Ca, Mg, Na, K, N de NH ₄ ⁺ e de NO ₃ ⁻ , P, Cl e S determinados entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000	84
Figura 3.1.11 Relação entre as quantidades de escorrimento ao longo do tronco e os fluxos (kg ha ⁻¹) de H, Ca, Mg, Na, K, N de NH ₄ ⁺ e de NO ₃ ⁻ , P, Cl e S determinados entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000	85
Figura 3.1.12 Concentrações médias quinzenais de Ca ²⁺ na solução de solo obtida por gravidade, nas áreas sob a copa das árvores (a) e nas áreas fora da acção desta (b), à superfície (□) e a 30 cm (■) de profundidade entre Maio de 1998 e Dezembro de 2000.	92
Figura 3.1.13 Valores de pH e concentrações médias quinzenais de NO ₃ ⁻ na solução de solo obtida por gravidade, nas áreas sob a copa das árvores, à superfície (□) e a 30 cm (■) de profundidade entre Maio de 1998 e Dezembro de 2000.	93
Figura 3.1.14 Valores de pH e concentrações médias quinzenais de NO ₃ ⁻ na solução de solo obtida por gravidade, nas áreas fora da acção da copa das árvores, à superfície (□) e a 30 cm (■) de profundidade entre Maio de 1998 e Dezembro de 2000.	94

Figura 3.1.15 Concentrações médias quinzenais de Ca ²⁺ na solução de solo obtida por sucção, nas áreas sob a copa das árvores, à superfície (□) e a 30 cm (■) de profundidade entre Novembro de 1997 e Dezembro de 2000.	97
Figura 3.1.16 Valores de pH e concentrações médias quinzenais de NO ₃ ⁻ na solução de solo obtida por sucção, nas áreas sob a copa das árvores, à superfície (□) e a 30 cm (■) de profundidade entre Novembro de 1997 e Dezembro de 2000.	98
Figura 3.2.1 Valores médios horários da radiação fotossintéticamente activa, incidente (INC) e transmitida através do estrato arbóreo (EA) de <i>Q. rotundifolia</i> , durante uma semana de Março, uma de Junho, uma de Setembro e uma de Dezembro de 2001.	102
Figura 3.2.2 Valores médios horários radiação fotossintéticamente activa (PAR) transmitida através dos estratos arbóreo (EA), arbóreo-arbustivo (EAa) e arbustivo (Ea), durante uma semana de Março, uma de Junho, uma de Setembro e uma de Dezembro de 2001.	103
Figura 3.2.3 Valores médios horários da radiação solar global incidente (G) e transmitida através da copa de azinheira, na zona mais interna (SC1) e na zona mais externa (SC2), durante uma semana de Março, uma semana de Junho, uma semana de Setembro e uma semana de Dezembro de 2001.	107
Figura 3.2.4 Valores médios horários da radiação solar global transmitida através da rede de sombra (RS) e da copa da azinheira, na zona mais interna (SC1), durante uma semana de Março, uma de Junho, uma de Setembro e uma de Dezembro de 2001.	108
Figura 3.2.5 Valores médios horários da temperatura no horizonte orgânico do solo do sob coberto de azinheira, na orientação Sul (CAaS) e Norte (CAaN), durante uma semana de Março, uma semana de Junho, uma semana de Setembro e uma semana de Dezembro de 2001.	112
Figura 3.2.6 Valores médios horários da temperatura do solo a 2,5 cm de profundidade, com coberto arbóreo-arbustivo (CAaS e CAaN), arbustivo (CM), herbáceo (CH), arbóreo-herbáceo (CAH) e herbáceo com sombreamento artificial (CHR), durante os meses de Março, Junho, Setembro e Dezembro de 2001.	115
Figura 3.2.7 Valores médios horários da temperatura do solo a 20 cm de profundidade, com coberto arbóreo-arbustivo (CAaS e CAaN), arbustivo (CM), herbáceo (CH), arbóreo-herbáceo (CAH) e herbáceo com sombreamento artificial (CHR), durante os meses de Março, Junho, Setembro e Dezembro de 2001.	116
Figura 3.3.1 Valor médio da massa da camada orgânica (MCO) e colhida a 33%, 66%, 100%, 133% e 200% do raio da copa, em áreas vedadas (AV) e não vedadas (ANV) ao pastoreio, de cinco árvores isoladas. Letras diferentes na mesma série correspondem a diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste <i>H</i> de Student-Newman-Keuls.	120
Figura 3.3.2 Valores médios (e respectivo erro padrão; n=4) das quantidades de N, P, K, Ca, Mg e Mn, retidas na camada orgânica do solo, recolhida a 33%, 66%, 100%, 133% e 200% do raio da copa, em áreas vedadas (AV) e não vedadas (ANV) ao pastoreio.	122
Figura 3.3.3 Frequências relativas (%) da condutividade hidráulica saturada (cm s ⁻¹) medida à superfície do solo e a 15 cm de profundidade, sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de <i>Q. rotundifolia</i> .	124
Figura 3.3.4 Valores médios diários do teor em água no solo (m ³ m ⁻³), a 6 cm (1 ^a coluna) e a 25 cm de profundidade (2 ^a coluna), sob (Sc) e fora (Fc) da influência da copa das árvores, no primeiro trimestre de 2000.	125
Figura 3.3.5 Valores médios diários do teor em água no solo (m ³ m ⁻³), a 6 cm (1 ^a coluna) e a 25 cm de profundidade (2 ^a coluna), sob (Sc) e fora (Fc) da influência da copa das árvores, no segundo trimestre de 2000.	126
Figura 3.3.6 Valores médios diários do teor em água no solo (m ³ m ⁻³), a 6 cm (1 ^a coluna) e a 25 cm de profundidade (2 ^a coluna), sob (Sc) e fora (Fc) da influência da copa das árvores, no terceiro trimestre de 2000.	127
Figura 3.3.7 Valores médios diários do teor em água no solo (m ³ m ⁻³), a 6 cm (1 ^a coluna) e a 25 cm de profundidade (2 ^a coluna), sob (Sc) e fora (Fc) da influência da copa das árvores, no quarto trimestre de 2000.	128

Figura 3.3.8 Valor médio da massa volúmica aparente (MVA) do solo, colhido a 0-5 (a), a 5-10 (b) e a 10-20 cm (c) de profundidade, e a 33%, 66%, 100%, 133% e 200% do raio da copa de <i>Q. rotundifolia</i> , em áreas não vedadas (ANV) e vedadas (AV) ao pastoreio, de cinco árvores isoladas. Letras diferentes na mesma série correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo teste <i>H</i> de Kruskal-Wallis.	129
Figura 3.3.9 Curvas de tensão de humidade (pF 1,0, 1,8, 2,0, 2,54, 3,0, 3,5 e 4,2) determinadas aos 0-5, 5-10 e 10-15 cm de profundidade, sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de <i>Q. rotundifolia</i> . Os valores representam as médias, para $n=10$	132
Figura 3.4.1 Concentrações (mg kg^{-1}) de $\text{N}[\text{NH}_4^+]$ e de $\text{N}[\text{NO}_3^-]$ no solo, à profundidade de 0-10 cm, das áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de <i>Q. rotundifolia</i> , de Novembro de 2000 a Novembro de 2002. Os valores correspondem à média ($n=5$) e as barras indicam o erro padrão.	148
Figura 3.4.2 Concentrações (mg kg^{-1}) de $\text{N}[\text{NH}_4^+]$ e de $\text{N}[\text{NO}_3^-]$ do solo, à profundidade de 10-20 cm, das áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de <i>Q. rotundifolia</i> , de Novembro de 2000 a Novembro de 2002. Os valores correspondem à média ($n=5$) e as barras indicam o erro padrão.	151
Figura 3.4.3 Mineralização de N <i>in situ</i> ($\text{kg N}[\text{NH}_4^+] \text{ e } \text{N}[\text{NO}_3^-] \text{ ha}^{-1}$) no solo, à profundidade de 0-10 cm, das áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de <i>Q. rotundifolia</i> , de Maio de 2001 a Junho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=5$) e as barras indicam o erro padrão.	154
Figura 3.4.4 Mineralização de N <i>in situ</i> ($\text{kg N}[\text{NH}_4^+] \text{ e } \text{N}[\text{NO}_3^-] \text{ ha}^{-1}$) do solo, à profundidade de 10-20 cm, das áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de <i>Q. rotundifolia</i> , de Maio de 2001 a Junho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=5$) e as barras indicam o erro padrão.	157
Figura 3.4.5 Mineralização acumulada de N ($\text{N}[\text{NH}_4^+] + \text{N}[\text{NO}_3^-]$) <i>in situ</i> (kg ha^{-1}) no solo, à profundidade de (a) 0-10 cm e (b) 10-20 cm, das áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de <i>Q. rotundifolia</i> , de Maio de 2001 a Junho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=5$).	159
Figura 3.4.6 Lixiviação de N <i>in situ</i> ($\text{kg N}[\text{NH}_4^+] \text{ e } \text{N}[\text{NO}_3^-] \text{ ha}^{-1}$) para além de 20 cm de profundidade do solo das áreas sob (SC) e fora (FC) da copa de <i>Q. rotundifolia</i> , de Maio de 2001 a Junho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=5$) e as barras indicam o erro padrão.	161
Figura 3.4.7 Absorção de N <i>in situ</i> ($\text{kg N}[\text{NH}_4^+] \text{ e } \text{N}[\text{NO}_3^-] \text{ ha}^{-1}$), à profundidade de 0-10 cm, do solo das áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de <i>Q. rotundifolia</i> , de Maio de 2001 a Junho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=5$) e as barras indicam o erro padrão.	163
Figura 3.4.8 Absorção <i>in situ</i> ($\text{kg N}[\text{NH}_4^+] \text{ e } \text{N}[\text{NO}_3^-] \text{ ha}^{-1}$) na profundidade de 10-20 cm do solo das áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de <i>Q. rotundifolia</i> , de Maio de 2001 a Junho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=5$) e as barras indicam o erro padrão.	167
Figura 3.4.9 Mineralização de N ($\text{mg N}[\text{NH}_4^+] \text{ e } \text{N}[\text{NO}_3^-] \text{ kg}^{-1}$) por incubação aeróbia de amostras de solo, colhidas à profundidade de 0-10 cm, das áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de <i>Q. rotundifolia</i> , em Abril (a) e Dezembro (b) de 2001. Os valores são a média ($n=8$) e as barras o erro padrão.	169
Figura 3.4.10 Mineralização de N ($\text{mg N}[\text{NH}_4^+] \text{ e } \text{N}[\text{NO}_3^-] \text{ kg}^{-1}$) por incubação aeróbia de amostras colhidas à profundidade de 10-20 cm, nas áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de <i>Q. rotundifolia</i> , em Abril (a) e Dezembro (b) de 2001. Os valores correspondem à média ($n=8$) e as barras indicam o erro padrão.	169
Figura 3.4.11 Concentrações (mg kg^{-1}) de $\text{N}[\text{NH}_4^+]$ e de $\text{N}[\text{NO}_3^-]$ à profundidade de 0-10 cm, nas áreas sujeitas (RR) e não sujeitas (RT) a sombreamento artificial, de Abril a Julho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=6$) e as barras indicam o erro padrão.	174
Figura 3.4.12 Concentrações (mg kg^{-1}) de $\text{N}[\text{NH}_4^+]$ e de $\text{N}[\text{NO}_3^-]$ à profundidade de 10-20 cm, nas áreas sujeitas (RR) e não sujeitas (RT) a sombreamento artificial, de Abril a Julho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=6$) e as barras indicam o erro padrão.	175

Figura 3.4.13 Variação da mineralização de N *in situ* (kg N[NH₄⁺] e N[NO₃] ha⁻¹) à profundidade de 0-10 cm, nas áreas sujeitas (RR) e não sujeitas (RT) a sombreamento artificial, de Abril a Julho de 2002. Os valores correspondem à média (n=6) e as barras indicam o erro padrão.

177

Figura 3.4.14 Variação da mineralização de N *in situ* (kg N[NH₄⁺] e N[NO₃] ha⁻¹) à profundidade de 10-20 cm, nas áreas sujeitas (RR) e não sujeitas (RT) a sombreamento artificial, de Abril a Julho de 2002. Os valores correspondem à média (n=6) e as barras indicam o erro padrão.

178

Figura 3.4.15 Mineralização acumulada de N *in situ* (kg N[NH₄⁺] e N[NO₃] ha⁻¹) à profundidade de (a) 0-10 e (b) 10-20 cm, nas áreas sujeitas (RR) e não sujeitas (RT) a sombreamento artificial, de Abril a Julho de 2002. Os valores correspondem à média (n=6) e as barras indicam o erro padrão.

179

Figura 3.4.16 Lixiviação de N *in situ* (kg N[NH₄⁺] e N[NO₃] ha⁻¹) à profundidade de 0-10 cm, nas áreas sujeitas (RR) e não sujeitas (RT) a sombreamento artificial, de Abril a Julho de 2002. Os valores correspondem à média (n=6) e as barras indicam o erro padrão.

180

Figura 3.4.17 Absorção de N *in situ* (kg N[NH₄⁺] e N[NO₃] ha⁻¹) à profundidade de 0-10 cm, nas áreas sujeitas (RR) e não sujeitas (RT) a sombreamento artificial, de Abril a Julho de 2002. Os valores correspondem à média (n=6) e as barras indicam o erro padrão.

182

Figura 3.4.18 Absorção de N *in situ* (kg N[NH₄⁺] e N[NO₃] ha⁻¹) à profundidade de 10-20 cm, nas áreas sujeitas (RR) e não sujeitas (RT) a sombreamento artificial, de Abril a Julho de 2002. Os valores correspondem à média (n=6) e as barras indicam o erro padrão.

183

Figura 3.4.19 Efluxo de CO₂ do solo ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) nas áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*, de Dezembro de 2001 a Julho de 2002. Os valores correspondem à média (n=15) e as barras indicam o erro padrão. As medições foram interrompidas no mês de Abril por falta de disponibilidade no aparelho.

184

Figura 3.4.20 Efluxo de CO₂ do solo ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) nas áreas sob a acção da copa de *Q. rotundifolia*, com (MB) e sem (REF) mobilização do solo até à profundidade de 10 cm, às 11:00 e às 17:00 de 18 de Fevereiro de 2002, às 9:00 de 10 de Março de 2002. As medições foram efectuadas 24 horas após a mobilização. Os valores correspondem à média (n=15) e as barras indicam o erro padrão.

186

Figura 3.4.21 Efluxo de CO₂ do solo ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) nas áreas fora da acção da copa de *Q. rotundifolia*, com (MB) e sem (REF) mobilização do solo até à profundidade de 10 cm às 12:00 de 27 de Março de 2002. As medições foram efectuadas 24 horas após a mobilização. Os valores correspondem à média (n=15) e as barras indicam o erro padrão.

187

Figura 3.5.1 Valores médios da produção de fitomassa (FT), biomassa (BT) e necromassa (NC) totais (g m^{-2}) das parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG), fertilizadas e regadas (FRG), nas áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e nas áreas com radiação reduzida artificialmente (RR), em Abril de 2001 (01) e de 2002 (02).

191

Figura 3.5.2 Valores médios da produção (g m^{-2}) de fitomassa de gramíneas (GR), dicotiledóneas não leguminosas (DNL), e leguminosas (LG), e percentagem de cada um dos grupos, nas áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ), e nas áreas com radiação reduzida artificialmente (RR); considerando as parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG), em Abril de 2001 (01) e de 2002 (02).

192

Figura 3.5.3 Valores médios ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) do índice de área foliar (LAI) da globalidade das herbáceas (TOT), do grupo das gramíneas (GR), do grupo das dicotiledóneas não leguminosas (DNL) e do grupo das leguminosas (LG); nas áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ), e nas áreas com cobertura de rede de sombra (RR), em parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG), fertilizadas e regadas (FRG) em Abril de 2001 (01) e de 2002 (02).

197

Figura 3.5.4 Valores médios da razão do peso foliar (LWR) da vegetação herbácea global (TOT), do grupo das gramíneas (GR), do grupo das dicotiledóneas não leguminosas (DNL) e do grupo das leguminosas (LG), nas áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e nas áreas com cobertura de rede de sombra (RR), em parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG), em Abril de 2001 (01) e de 2002 (02).

199

Figura 3.5.5 Valores médios da quantidade de N e P na biomassa total (g m^{-2}) de gramíneas (GR), dicotiledóneas não leguminosas (DNL) e leguminosas (LG), nas áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e nas áreas com radiação reduzida (RR), das parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG) em Abril de 2001 (01) e de 2002 (02).

204

Figura 3.5.6 Valores médios da quantidade de K e Ca na biomassa total (g m^{-2}) de gramíneas (GR), dicotiledóneas não leguminosas (DNL) e leguminosas (LG), nas áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e nas áreas com radiação reduzida (RR), das parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG) em Abril de 2001 (01) e de 2002 (02).

205

Figura 3.5.7 Valores médios da quantidade de Mg e Mn na biomassa total (g m^{-2}) de gramíneas (GR), dicotiledóneas não leguminosas (DNL) e leguminosas (LG), nas áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e nas áreas com radiação reduzida (RR), das parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG), em Abril de 2001 (01) e de 2002 (02).

206

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1.1 Estatística descritiva sumária relativa aos valores de pH e às concentrações ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , N mineral (NH_4^+ e NO_3^-), PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} na precipitação bruta, no gotejo e no escorrimento ao longo do tronco, obtidos entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000	50
Quadro 3.1.2 Valores médios de pH e das concentrações médias ponderadas ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , N mineral (NH_4^+ e NO_3^-), PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} na precipitação bruta (PB), no gotejo (GO) e no escorrimento ao longo do tronco (ET), obtidos entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000	51
Quadro 3.1.3 Quantidades de origem marinha (MA) e não marinha (NMA) de alguns elementos da precipitação bruta ($\text{mmol}_c \text{ m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$) durante os anos 1997 a 2000, na Herdade da Mitra, Évora. A determinação foi realizada a partir das relações obtidas por Colin (1987) para a devolução marinha	53
Quadro 3.1.4 Média das razões entre as concentrações dos iões Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} observadas no gotejo (GO) e na precipitação bruta (PB), e as observadas no escorrimento ao longo do tronco (ET) e na precipitação bruta (PB), entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000	54
Quadro 3.1.5 Coeficientes de correlação linear entre as concentrações iónicas na precipitação bruta (PB) recolhida entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000	60
Quadro 3.1.6 Resultados da Análise de Componentes Principais (extracção com rotação de varimax) às concentrações iónicas na precipitação bruta (PB) recolhida entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000	62
Quadro 3.1.7 Coeficientes de correlação linear entre as concentrações iónicas no gotejo (GO) recolhido entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000	63
Quadro 3.1.8 Coeficientes de correlação linear entre as concentrações iónicas no escorrimento ao longo do tronco (ELT) recolhido entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000	64
Quadro 3.1.9 Resultados da Análise de Componentes Principais (extracção com rotação de varimax) às concentrações iónicas no gotejo (GO) recolhido entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000	66
Quadro 3.1.10 Resultados da Análise de Componentes Principais (extracção com rotação de varimax) às concentrações iónicas no escorrimento ao longo do tronco (ELT) recolhido entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000	67
Quadro 3.1.11 Valores médios de pH e das concentrações médias ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , N mineral (NH_4^+ e NO_3^-), PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} nas soluções obtidas por escorrimento do tronco (0 m), sob a copa da árvore (2,1 e 5,8 m), no limite da projecção da copa da árvore (7,5 m), fora do limite da projecção da copa da árvore (9,7 e 14,7 m) e acima da copa da árvore (PB) entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000. Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo teste <i>H</i> de Kruskal-Wallis	74
Quadro 3.1.12 Quantidade de nutrientes transportados pela precipitação bruta (PB) e respectivos volumes anuais registados durante 1997 a 2000	76
Quadro 3.1.13 Quantidade de nutrientes determinados no gotejo (GO) e respectivos volumes anuais registados durante 1997 a 2000	77
Quadro 3.1.14 Quantidade de nutrientes transportados pelo escorrimento ao longo do tronco (ELT) e respectivos volumes anuais registados durante 1997 a 2000. Os fluxos e os volumes foram expressos considerando como área de influência do ELT, a área da copa da árvore e uma coroa circular à volta do tronco, com 1, 0,5 e 0,2 m de diâmetro	78

Quadro 3.1.15 Quantidade de nutrientes devida exclusivamente à passagem da PB pelas copas das árvores, ou gotejo líquido (GL), durante 1997 a 2000	79
Quadro 3.1.16 Estimativa da deposição seca e da lixiviação para o Ca, Mg e K expressas em percentagem do fluxo líquido anual, para os anos 1997 a 2000	81
Quadro 3.1.17 Estatística descritiva sumária relativa aos valores de pH e às concentrações ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , N mineral (NH_4^+ e NO_3^-), PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} na solução do solo obtida por gravidade, nas áreas sob a copa das árvores, à superfície e a 30 cm de profundidade, entre Maio de 1998 e Dezembro de 2000	87
Quadro 3.1.18 Estatística descritiva sumária relativa aos valores de pH e às concentrações ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , N mineral (NH_4^+ e NO_3^-), PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} na solução do solo obtida por gravidade, nas áreas fora da acção da copa das árvores, à superfície e a 30 cm de profundidade, entre Maio de 1998 e Dezembro de 2000	88
Quadro 3.1.19 Valores médios de pH e das concentrações médias ponderadas ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , N mineral (NH_4^+ e NO_3^-), PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} na solução do solo obtida por gravidade, nas áreas sob a copa das árvores (SC) e nas áreas fora da acção desta (FC), à superfície e a 30 cm de profundidade, entre Maio de 1998 e Dezembro de 2000	89
Quadro 3.1.20 Estatística descritiva sumária relativa aos valores de pH e às concentrações ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , N mineral (NH_4^+ e NO_3^-), PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} na solução do solo obtida por succção, nas áreas sob a copa das árvores, à superfície e a 30 cm de profundidade, entre Maio de 1998 e Dezembro de 2000	96
Quadro 3.1.21 Valores médios de pH e das concentrações médias ponderadas ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , N mineral (NH_4^+ e NO_3^-), PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} na solução do solo obtida por succção, nas áreas sob a copa das árvores, à superfície e a 30 cm de profundidade, entre Maio de 1998 e Dezembro de 2000	96
Quadro 3.1.22 Valores médios de pH e das concentrações médias ponderadas ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , N mineral (NH_4^+ e NO_3^-), PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} na solução do solo obtida por gravidade (GR) e por succção (SU), nas áreas sob a copa das árvores, à superfície e a 30 cm de profundidade, entre Maio de 1998 e Dezembro de 2000	99
Quadro 3.2.1 Valores médios ($\text{mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) da radiação fotossinteticamente activa acumulada, incidente (INC) e transmitida através dos estratos arbóreo (EA), arbóreo/arbustivo (EAa), arbustivo (Ea), bem como da fracção (%) interceptada pelos diferentes estratos (INT), durante os meses de Março, Junho, Setembro e Dezembro de 2001.	104
Quadro 3.2.2 Valores médios ($\text{Mj m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) da radiação global acumulada incidente (G) e transmitida, através da rede de sombra (RS) e da copa de azinheira, na zona mais interna (SC), bem como da fracção de G (%) interceptada pela rede de sombra (INT_{RS}) e pela copa da azinheira (INT_{SC}), durante os meses de Março, Junho, Setembro e Dezembro de 2001.	105
Quadro 3.2.3 Valores médios da temperatura no horizonte orgânico (H.O.), à superfície do solo (SUP) e a 2,5, 5, 10 e 20 cm de profundidade, com coberto arbóreo-arbustivo (CAaS e CAaN), arbustivo (CM), arbóreo-herbáceo (CAH), herbáceo (CH), e herbáceo com sombreamento artificial (CHR), durante o 1º trimestre de 2001.	109
Quadro 3.2.4 Valores médios da temperatura no horizonte orgânico (H.O.), à superfície do solo (SUP) e a 2,5, 5, 10 e 20 cm de profundidade, com coberto arbóreo-arbustivo (CAaS e CAaN), arbustivo (CM), arbóreo-herbáceo (CAH), herbáceo (CH), e herbáceo com sombreamento artificial (CHR), durante o 2º trimestre de 2001.	110
Quadro 3.2.5 Valores médios da temperatura no horizonte orgânico (H.O.), à superfície do solo (SUP) e a 2,5, 5, 10 e 20 cm de profundidade, com coberto arbóreo-arbustivo (CAaS e CAaN), arbustivo (CM), arbóreo-herbáceo (CAH), herbáceo (CH), e herbáceo com sombreamento artificial (CHR), durante o 3º trimestre de 2001.	111
Quadro 3.2.6 Valores médios da temperatura no horizonte orgânico (H.O.), à superfície do solo (SUP) e a 2,5, 5, 10 e 20 cm de profundidade, com coberto arbóreo-arbustivo (CAaS e CAaN), arbustivo (CM), arbóreo-herbáceo (CAH), herbáceo (CH), e herbáceo com sombreamento artificial (CHR), durante o 4º trimestre de 2001.	111

Quadro 3.3.1 Concentração (mg g^{-1}) de N, P, K, Ca, Mg e Mn na camada orgânica do solo colhida a 33%, 66%, 100%, 133% e 200% do raio da copa, em áreas não vedadas e vedadas ao pastoreio. Os valores representam a média (desvio padrão), para n=4. Letras diferentes na mesma série correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo teste <i>H</i> de Kruskal-Wallis.	121
Quadro 3.3.2 Valores da condutividade hidráulica saturada (ks) medida à superfície do solo e a 15 cm de profundidade, sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de <i>Q. rotundifolia</i> . Os valores representam a média (desvio padrão) para n=10. Letras diferentes na mesma linha correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo teste <i>U</i> de Mann-Whitney.	123
Quadro 3.3.3 Teores de humidade ($\text{pF } 1,0, 1,8, 2,0, 2,54, 3,0, 3,5 \text{ e } 4,2$) e capacidade de água utilizável (CAU) do solo ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) determinadas aos 0-5, 5-10 e 10-15 cm de profundidade, sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de <i>Q. rotundifolia</i> . Os valores representam as médias (desvio padrão), para n=10. Médias na mesma coluna com * são significativamente diferentes ($p<0,05$) pelo teste <i>t</i> de Student.	131
Quadro 3.3.4 Valores médios do pH e da concentração das bases de troca, do teor de K e P extraíveis, de N orgânico total, e de C orgânico total (T), humificado (HU) e não humificado (NHU) determinados a partir de amostras (n=4) colhidas à profundidade de 0-5 cm do solo, a 33%, 66%, 100% (limite da projecção copa), 133% e 200% do raio da copa, em áreas vedadas e não vedadas ao pastoreio. Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo teste <i>H</i> de Kruskal-Wallis.	137
Quadro 3.3.5 Valores médios do pH e da concentração das bases de troca, do teor de K e P extraíveis, de N orgânico total, e de C orgânico total (T), humificado (H) e não humificado (NH) determinados a partir de amostras (n=4) colhidas à profundidade de 5-10 cm do solo, a 33%, 66%, 100% (limite da projecção copa), 133% e 200% do raio da copa, em áreas vedadas e não vedadas ao pastoreio. Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo teste <i>H</i> de Kruskal-Wallis.	138
Quadro 3.3.6 Valores médios do pH e da concentração das bases de troca, do teor de K e P extraíveis, de N orgânico total, e de C orgânico total (T), humificado (H) e não humificado (NH) determinados a partir de amostras (n=4) colhidas à profundidade de 10-20 cm do solo, a 33%, 66%, 100% (limite da projecção copa), 133% e 200% do raio da copa, em áreas vedadas e não vedadas ao pastoreio. Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo teste <i>H</i> de Kruskal-Wallis.	139
Quadro 3.3.7 Valores médios do pH e da concentração das bases de troca, do teor de K e P extraíveis, de N orgânico total, e de C orgânico total (T), humificado (H) e não humificado (NH) determinados a partir de amostras (n=4) colhidas a 66% do raio da copa, à profundidade de 0-5, 5-10 e 10-20 cm do solo, em áreas vedadas e não vedadas ao pastoreio. Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo teste <i>H</i> de Kruskal-Wallis.	141
Quadro 3.3.8 Quantidades médias (g m^{-2}), das bases de troca, de K e P extraíveis, de N orgânico total, e de C orgânico total (T), humificado (H) e não humificado (NH) determinadas a partir de amostras (n=4) colhidas à profundidade de 0-5 cm do solo, a 33%, 66%, 100% (limite da projecção copa), 133% e 200% do raio da copa, em áreas vedadas e não vedadas ao pastoreio. Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo teste <i>H</i> de Kruskal-Wallis.	142
Quadro 3.3.9 Quantidades médias (g m^{-2}), das bases de troca, de K e P extraíveis, de N orgânico total, e de C orgânico total (T), humificado (H) e não humificado (NH) determinadas a partir de amostras (n=4) colhidas à profundidade de 5-10 cm do solo, a 33%, 66%, 100% (limite da projecção copa), 133% e 200% do raio da copa, em áreas vedadas e não vedadas ao pastoreio. Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo teste <i>H</i> de Kruskal-Wallis.	143
Quadro 3.3.10 Quantidades médias (g m^{-2}), das bases de troca, de K e P extraíveis, de N orgânico total, e de C orgânico total (T), humificado (H) e não humificado (NH) determinadas a partir de amostras (n=4) colhidas à profundidade de 10-20 cm do solo, a 33%, 66%, 100% (limite da projecção copa), 133% e 200% do raio da copa, em áreas vedadas e não vedadas ao pastoreio. Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo teste <i>H</i> de Kruskal-Wallis.	144

Quadro 3.4.1 Valor médio (\pm desvio padrão) da concentração (g kg^{-1}) de N e C orgânico, e da razão C/N, nas profundidades de 0-10 e de 10-20 cm, do solo das áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*, em Novembro de 2000, Maio de 2001 e Junho de 2002. Valores com * na mesma coluna para a mesma profundidade, são significativamente diferentes ($p<0,05$) pelo teste *U* de Mann-Whitney.

146

Quadro 3.4.2 Valor médio e desvio padrão, da concentração (g kg^{-1}) de N e C orgânico, e da razão C/N, nas profundidades de 0-10 e de 10-20 cm, do solo das áreas com (RR) e sem (RT) sombreamento artificial, em Abril e Junho de 2002. Valores com * na mesma coluna para a mesma profundidade, correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo teste *U* de Mann-Whitney.

147

Quadro 3.4.3 Valores da mineralização específica de N (kg N kg^{-1} N total) para as amostras colhidas à profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm, nas áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*, em Abril e Dezembro de 2001.

171

Quadro 3.4.4 Valores médios da mineralização de N ($\text{N[NH}_4^+ + \text{N[NO}_3^-]}$), $\text{N[NH}_4^+]$ e $\text{N[NO}_3^-]$ (mg kg^{-1}) por incubação anaeróbia *in situ* de amostras colhidas à profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm, nas áreas sob (SC) e fora (FC) da copa de *Q. rotundifolia*, em Abril e Dezembro de 2001. Os valores são média ($n=8$) e desvio padrão (\pm). Valores com * na mesma data e profundidade correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo teste *U* de Mann-Whitney.

172

Quadro 3.4.5 Valores da mineralização de N ($\text{N[NH}_4^+ + \text{N[NO}_3^-]}$), $\text{N[NH}_4^+]$ e $\text{N[NO}_3^-]$ (mg kg^{-1}) por incubação anaeróbia (a 40°C) de amostras colhidas a 0-10 cm e 10-20 cm de profundidade do solo das áreas sob (SC) e fora (FC) da copa de *Q. rotundifolia*, em Abril e Dezembro de 2001. Os valores são média ($n=8$) e desvio padrão (\pm). Valores com * na mesma data e profundidade correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo teste *U* de Mann-Whitney.

173

Quadro 3.4.6 Valores da mineralização específica de N (kg N kg^{-1} N total) por incubação anaeróbia *in situ* e a 40°C , para as amostras colhidas à profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm, nas áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*, em Abril e Dezembro de 2001.

173

Quadro 3.4.7 Índice específico da libertação de C através da respiração do solo (mg kg^{-1}) para as amostragens efectuadas nas áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*, em Dezembro de 2001, em Fevereiro, na 2^a quinzena de Março e Maio, e em Julho de 2002.

185

Quadro 3.5.1 Concentração de N, P, K, Ca, Mg e Mn (mg g^{-1}) na biomassa por grupo de plantas (gramíneas, dicotiledóneas não leguminosas e leguminosas) nas áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e com radiação reduzida (RR), nas parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG), em Abril de 2001.

201

Quadro 3.5.2 Concentração de N, P, K, Ca, Mg e Mn (mg g^{-1}) na biomassa por grupo de plantas (gramíneas, dicotiledóneas não leguminosas e leguminosas) nas áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e com radiação reduzida (RR), nas parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG), em Abril de 2002.

202

1 INTRODUÇÃO

Os montados de sobreiro (*Quercus suber* L.) e azinho (*Quercus rotundifolia* Lam.) ocupam em Portugal uma área de 1 174 390 ha¹ correspondente a 36% da área florestal total. A sua distribuição no território nacional não é homogénea, sendo que 74% destes se situam a Sul do rio Tejo (DGF, 1999).

No Alentejo, os povoamentos de sobreiro distribuem-se preferencialmente pela zona ocidental e de maior pluviosidade, ocupando uma superfície de 483 918 ha, enquanto a azinheira assume maior relevo na zona interior mais xérica, ocupando uma superfície de 483 918 ha (DGF, 1999). O montado assume no Alentejo, ainda nos dias de hoje, grande relevância ecológica e económica, por um lado, devido à sua extensão e, por outro, dado serem ainda nestas áreas que muitas das nossas espécies faunísticas e florísticas encontram condições adequadas de sustentação e em que muitos dos circuitos económicos da região baseiam a sua actividade. Os montados alentejanos caracterizam-se por apresentarem uma baixa densidade arbórea, comumente com grau de cobertura do solo pelas copas inferior a 50%, dado que apenas 3,5% dos montados de azinho e 25,8% dos montados de sobreiro exibem taxas superiores a este valor, segundo a 3^a Revisão do Inventário Florestal Nacional de 1998 (DGF, 1999).

Os montados do Sul de Portugal, o sistema agroflorestal predominante nesta região (David, 2000), podem ser descritos como formações resultantes da justaposição de um sistema arbóreo descontínuo, sobre um sistema herbáceo contínuo (Joffre & Rambal, 1988). Esta descrição coincide com a utilizada por vários autores na caracterização do sistema agroflorestal designado por savana (Belsky *et al.*, 1989, 1993; Jackson *et al.*, 1990; Belsky 1994; Scholes & Archer, 1997), pelo que podemos considerar os povoamentos de *Quercus suber* L e *Q. rotundifolia* Lam. como sendo deste tipo (Joffre & Rambal, 1993), com características de estrutura e funcionamento muito semelhantes às savanas de carvalhos da Califórnia (Dahlgren *et al.*, 1997, 2003).

Uma particularidade importante das árvores em sistemas do tipo savana é funcionarem como captores e redistribuidores, não só da precipitação como dos nutrientes. A estrutura da copa da azinheira cria condições micrometeorológicas favoráveis à deposição de partículas atmosféricas, deposição essa exponenciada pela maior superfície de exposição da copa, comparativamente com a superfície do solo (Rodrigo & Ávila, 2002). A precipitação interceptada pela copa das árvores é subsequentemente redistribuída no solo coberto, pelo gotejo e escorrimento ao longo do tronco, podendo alterar tanto o regime

¹ As áreas mencionadas dizem respeito exclusivamente a povoamentos puros e mistos dominantes

hídrico como a disponibilidade em nutrientes do solo (Escudero, 1985; Joffre & Rambal, 1988, 1993). Verifica-se a alteração da composição química da precipitação, após a sua passagem através do copado, em resultado da lavagem das partículas depositadas e pelos processos de absorção e lixiviação de nutrientes que ocorrem nas folhas da árvore e na microflora associada (Dancette & Poulin, 1969; Joffre & Rambal, 1986, 1988; Potter *et al.*, 1991; Haworth & McPherson, 1995; Muoghalu & Oakhumen, 2000).

Em sistemas do tipo savana, as condições microclimáticas no sob coberto das árvores individualizadas diferem substancialmente das observadas nas áreas intercopado da componente herbácea (Joffre & Rambal, 1988; Haworth & McPherson, 1995). As principais alterações consistem, para além da intercepção e redistribuição da precipitação, na redução da radiação solar global (Belsky *et al.*, 1989) e da radiação fotossintéticamente activa (Jackson *et al.*, 1990), em resultado da intercepção foliar. O sombreamento causado pelo copado, simultaneamente com acumulação de folhada no sob coberto, tem como consequência uma redução da temperatura do solo nestas áreas (Belsky *et al.*, 1989; Breshears *et al.*, 1998).

Em resultado da interacção com a precipitação e da modificação das características microclimáticas, é natural que a componente arbórea dos sistemas tipo savana origine padrões de variação espacial das características físicas e químicas do solo, em função da forma como este é mais ou menos afectado pela espécie arbórea, pela distribuição do sistema radical, pelo padrão de queda de folhada, e pelas características do gotejo e do escorramento ao longo dos troncos (Zinke, 1962; Gersper & Holowaychuk, 1970; Eaton *et al.*, 1973; Belsky *et al.*, 1989).

Tem sido assinalada por diversos autores, a existência de uma diferenciação entre as áreas sob e fora da acção da copa de árvores individualizadas, quanto ao regime hídrico e à disponibilidade de nutrientes do solo (Attiwill & Leeper, 1987; Gauquelin *et al.*, 1992; Seiler & Matzner, 1995). Com efeito, Gersper & Holowaychuk (1970) encontraram uma estreita correlação entre as características do solo das áreas sob a influência da copa da árvore e as do respectivo escorramento ao longo do tronco, enquanto Ryan & McGarity (1983) verificaram uma acentuada variação das características físicas e químicas do solo, em função da distância ao tronco. A melhoria do regime e da disponibilidade hídrica do solo é atribuída tanto à intercepção da chuva pela copa como a uma maior acumulação de matéria orgânica neste, devido à queda de folhada e à senescência das raízes finas da árvore (Joffre & Rambal, 1988).

As árvores em sistemas com características análogas às do montado darão origem, no sob coberto, a ilhas de maior qualidade e fertilidade do solo, devido à alteração das

diferentes características físicas e químicas, provocada pela acção da árvore (Jackson *et al.*, 1990; Dahlgren *et al.*, 1997, 2003).

Na região mediterrânica da Califórnia, Jackson *et al.* (1990) e Dahlgren *et al.* (1997, 2003) observaram que o solo das áreas do sob coberto de *Quercus douglasii* apresentava teores mais elevados de azoto mineral e taxas mais elevadas de mineralização do azoto orgânico, do que o solo das áreas de herbáceas circundantes. Trabalhos realizados nas *dehesas* espanholas demonstraram que o sob coberto de azinheira apresentava maiores teores em matéria orgânica, nutrientes e humidade do solo (Escudero, 1985; Joffre *et al.*, 1987; Joffre & Rambal, 1988, 1993). A diferenciação das características físicas e químicas do solo sob a copa da árvore relativamente às áreas fora da acção desta, terá impacto na actividade microbiana do solo, originando diferentes padrões de mineralização do azoto orgânico e da taxa de respiração do solo nas duas áreas consideradas (Gallardo *et al.*, 2000; Abril, *et al.*, 2001).

Os gradientes associados a árvores individualizadas, ou seja a variação das características físicas do solo com o aumento da distância ao tronco, podem contribuir para alterar o padrão da vegetação herbácea no sob coberto (Belsky *et al.*, 1989; Haworth & McPherson, 1995). Em estudos realizados em savanas africanas, Belsky *et al.* (1989) definiu três zonas a partir do tronco de árvores isoladas: uma primeira zona correspondente ao sob coberto; uma segunda zona desde o limite da projecção vertical da copa até ao limite da expansão radial das raízes e uma terceira correspondente à área de herbáceas circundante da anterior.

As árvores isoladas alteram de forma marcante o habitat da vegetação herbácea, modificando a quantidade e qualidade da luz, bem como a disponibilidade de água e nutrientes necessários ao seu desenvolvimento (Ludwing, 2001).

É consensual que a interacção entre árvores e vegetação herbácea pode originar vários efeitos líquidos na produção de biomassa desta última, podendo ser positivos, negativos ou neutros, consoante a idade, a dimensão e a densidade de povoamento das árvores (Belsky *et al.*, 1993; Scholes & Archer, 1997; Gallardo *et al.*, 2000; Anderson *et al.*, 2001).

A similitude estrutural e funcional entre o montado e sistemas agroflorestais como por exemplo o das savanas californianas, sugere que as árvores isoladas de *Q. suber* e de *Q. rotundifolia* terão um papel fundamental no regime hídrico, nas características físicas e químicas do solo e na produção da vegetação herbácea sob a respectiva copa, o que

poderá assumir enorme relevância para a sobrevivência destes ecossistemas, sobretudo para suportar condições de eventos extremos.

Com efeito, estudos realizados em algumas das nossas zonas de montado têm demonstrado que os solos sob a copa de *Q. rotundifolia* podem apresentar maior disponibilidade de nutrientes, relativamente às áreas limítrofes (Baltasar *et al.*, 1983). Por outro lado, observou-se que os valores de produção da vegetação herbácea espontânea nas áreas sob a copa de *Q. suber* foram inferiores aos das áreas fora da sua acção (Sá, 2001). Embora estes dados obtidos em Portugal corroborem os da literatura estrangeira, eles são escassos e pontuais, sendo necessário obter mais informação de modo a conhecer o funcionamento do montado mais profundadamente, permitindo caracterizar um sistema tipo savana, para as nossas condições ambientais.

O presente estudo foi realizado na perspectiva de aumentar o conhecimento disponível sobre o impacto da componente arbórea de um montado de *Quercus rotundifolia* na modificação das características ambientais das áreas sob coberto comparativamente às áreas circundantes.

Assim, foram objectivos deste trabalho:

- Quantificação da precipitação bruta acima do copado da azinheira, do gotejo e do escorramento ao longo tronco, bem como caracterização da respectiva composição química, para determinar os “inputs” de nutrientes da atmosfera, a quantidade de elementos cedidos ou removidos da copa pela precipitação e a importância do escorramento ao longo tronco na devolução de nutrientes ao solo.
- Medição da radiação fotossintéticamente activa, da radiação solar global e da temperatura do solo, sob e fora da acção do coberto de *Quercus rotundifolia*, bem como sob a acção do estrato arbustivo existente neste montado.
- Medição da radiação solar global e da temperatura do solo nas áreas de herbáceas sujeitas a sombreamento artificial.
- Avaliação da massa das camadas orgânicas do solo, bem como da quantidade de nutrientes nelas acumulados.
- Avaliação das características físicas e químicas das camadas minerais do solo, de modo a diferenciar a acção das copas de *Q. rotundifolia* no solo do sob coberto, relativamente às áreas fora da sua acção.
- Determinação das quantidades de N e C totais, da disponibilidade de N mineral ao longo do tempo, da mineralização de N *in situ* e do potencial de mineralização

de N em diferentes condições, de modo a avaliar a acção da *Q. rotundifolia* no solo do sob coberto, relativamente ás áreas fora da acção desta.

- Determinação das quantidades de N e C totais, da disponibilidade de N mineral ao longo do tempo, e da mineralização de N *in situ*, em áreas sujeitas e não sujeitas a sombreamento artificial, na tentativa de individualizar o efeito de sombreamento.
- Avaliação da taxa de respiração do solo nas áreas do sob coberto de *Q. rotundifolia* e nas áreas fora deste.
- Quantificação da produtividade da vegetação herbácea sob e fora da acção da copa de *Q. rotundifolia*, bem como sob a influência de redução artificial da radiação.
- Avaliação da aplicação de fertilizantes e de rega, isoladamente e em conjunto, na produtividade da vegetação herbácea sob e fora da acção da copa de *Q. rotundifolia*, bem como sob a influência de redução artificial da radiação.

Esta dissertação, para além da presente Introdução (Capítulo 1) desenvolve-se por mais três capítulos: um capítulo em que se caracterizam a área de estudo e os sistemas experimentais e onde se descrevem os métodos e técnicas utilizados (Capítulo 2); outro, subsequente, onde se descrevem e discutem os resultados obtidos (Capítulo 3) e, finalmente, um último onde se tecem algumas considerações finais gerais do presente estudo (Capítulo 4).

2 METODOLOGIA

2.1 ÁREA E SISTEMAS EXPERIMENTAIS

2.1.1 Localização

Os trabalhos experimentais desenvolvidos no âmbito do presente estudo decorreram no Centro de Estudos e Experimentação da Mitra (C. E. E. M.), da Universidade de Évora, localizado a $8^{\circ} 01'$ W e a $38^{\circ} 32'$ N, distando da cidade de Évora cerca de 12 km. Este centro é também conhecido vulgarmente por Herdade da Mitra (Figura 2.1).

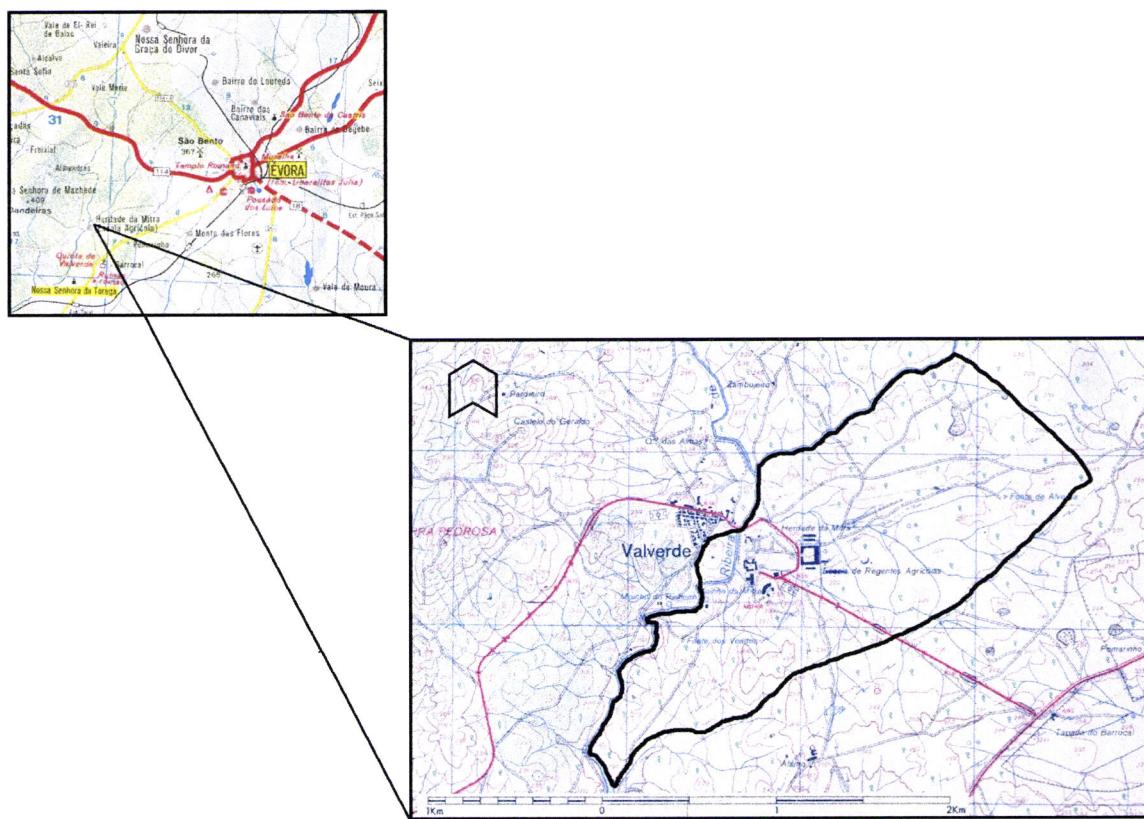


Figura 2.1.1 Implantação da Herdade da Mitra na Carta Militar de Portugal (1:25.000), Folha 459, Valverde – Évora.

A Herdade da Mitra ocupa uma área de 268 ha e apresenta um formato oblongo com o maior comprimento na direcção NE-SW, confrontando a NW com as ribeiras de Valverde e

da Peramanca (Figura 2.1.1) e a SW e a NE com as herdades do Barrocal e da Alfarrobeira respectivamente.

2.1.2 Clima

O C. E. E. M possui uma Estação Meteorológica (Estação ÉVORA/Mitra) cujos dados climáticos foram utilizados para a caracterização climática geral do local de estudo, tendo-se utilizado os referentes ao período 1958-88 (Anexo 2.1.1) (<http://agricultura.isa.utl.pt/agricultura/agribase/estações.asp>).

A temperatura média anual é de 15,7° C, sendo o mês de Agosto o que apresenta a temperatura média mensal mais alta (23,1° C); o mês de Janeiro, por seu turno, é aquele que apresenta temperatura média mensal mais baixa (9,4° C). No tocante às médias mensais das temperaturas máximas e mínimas (Figura 2.1.2), verifica-se que as primeiras variam entre 12,7° C (Janeiro) e 29,8° C (Julho), enquanto que as segundas variam entre 6,2° C (Janeiro) e 16,1° C (Agosto).

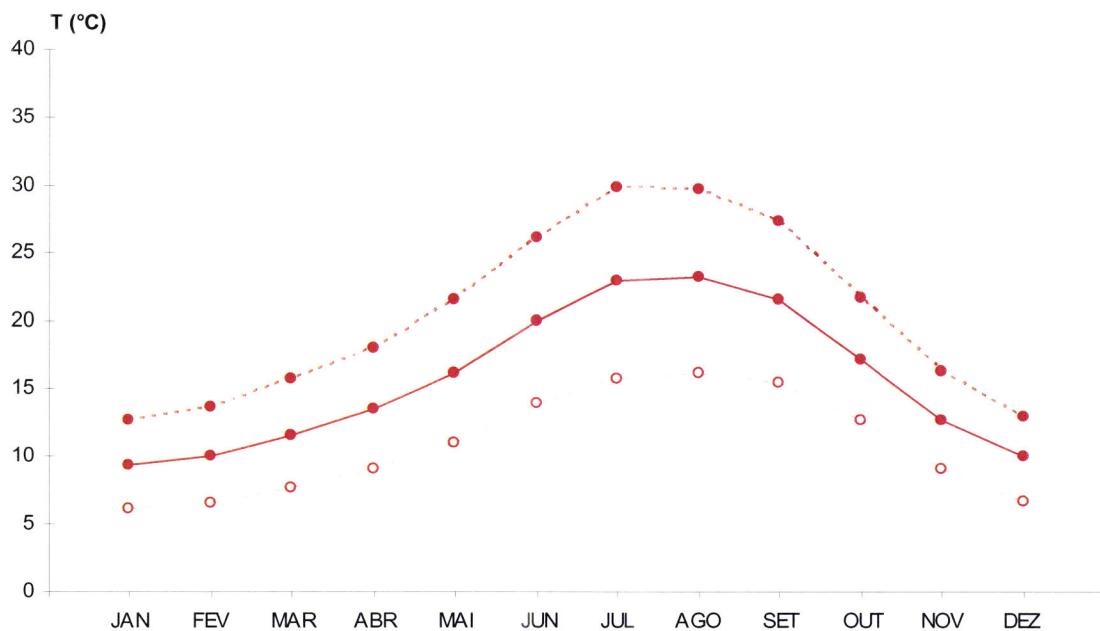


Figura 2.1.2 Temperaturas (T) médias mensais (—●— diária, -·-●-- máxima e -··●-- mínima) na Estação Meteorológica ÉVORA/Mitra, para o período de 1958-88 (<http://agricultura.isa.utl.pt/agricultura/agribase/estações.asp>).

A precipitação média anual é de 660,7 mm. Pode observar-se a sua distribuição mensal e a relação desta com os valores da temperatura média mensal verificados para cada um dos meses do ano na Figura 2.1.3, onde se constata a ocorrência de um período seco (Junho a Setembro), em que o valor da precipitação média mensal é inferior ao dobro

da temperatura média mensal respectiva (Walter & Lieth, 1960²), e um período chuvoso (Outubro a Maio) em que essa situação não se verifica. Os meses do período chuvoso contribuem com 89,8% para o total da precipitação anual, enquanto os meses correspondentes ao período seco contribuem apenas com 10,2%; uma contribuição excessivamente diminuta tendo em consideração o período de tempo referido.

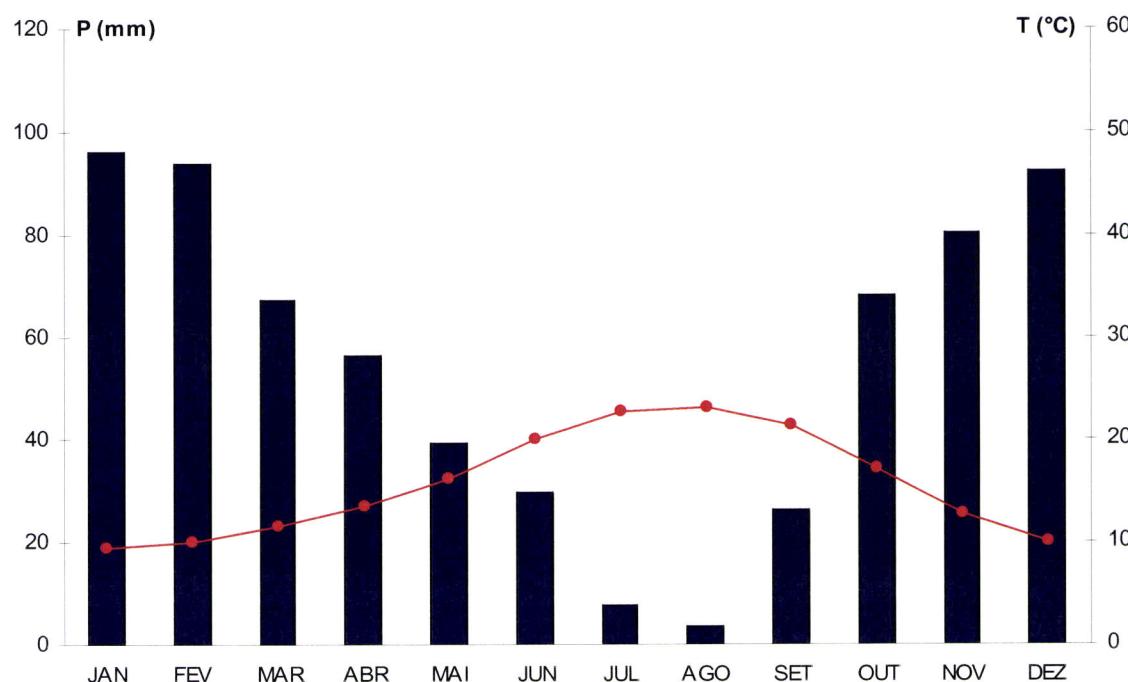


Figura 2.1.3 Diagrama pluviotérmico da Estação Meteorológica ÉVORA/Mitra, para o período de 1958-88 (<http://agricultura.isa.utl.pt/agricultura/agribase/estações.asp>). P – precipitação; T -temperatura.

Os valores da humidade relativa do ar, da insolação, da nebulosidade, da evaporação (medida pelo evaporímetro de Piche) e do número de dias de geada encontram-se indicados no Anexo 2.1.1. Durante os meses de Maio a Setembro a humidade relativa do ar às 18 h, atinge valores inferiores a 60 %, sendo estes superiores a 70 % no decorrer do período frio e chuvoso. Os valores de nebulosidade são mais elevados durante os meses de Setembro a Junho, aos quais correspondem valores médios de precipitação superiores a 20 mm.

As direcções predominantes do vento são: Norte, durante os meses mais secos e quentes (Junho a Setembro); Nordeste, de Dezembro a Janeiro; Este, nos períodos de Fevereiro a Abril e de Outubro a Novembro. A direcção Oeste assume particular relevância durante o mês de Maio. Os ventos mais fortes encontram-se de um modo geral associados ao quadrante N-NW, ocorrendo fundamentalmente no período de Janeiro a Abril.

² Walter & Lieth (1960) citado por Shepherd (1986).

Com base nos valores médios mensais da temperatura média e da precipitação, já referidos, determinou-se o balanço hídrico local através do método de *Thornthwaite-Mather* (Figura 2.1.4), para um valor de capacidade utilizável do solo de 100 mm, obtendo-se uma evapotranspiração potencial de 794 mm anuais e uma evapotranspiração real de 439 mm anuais.

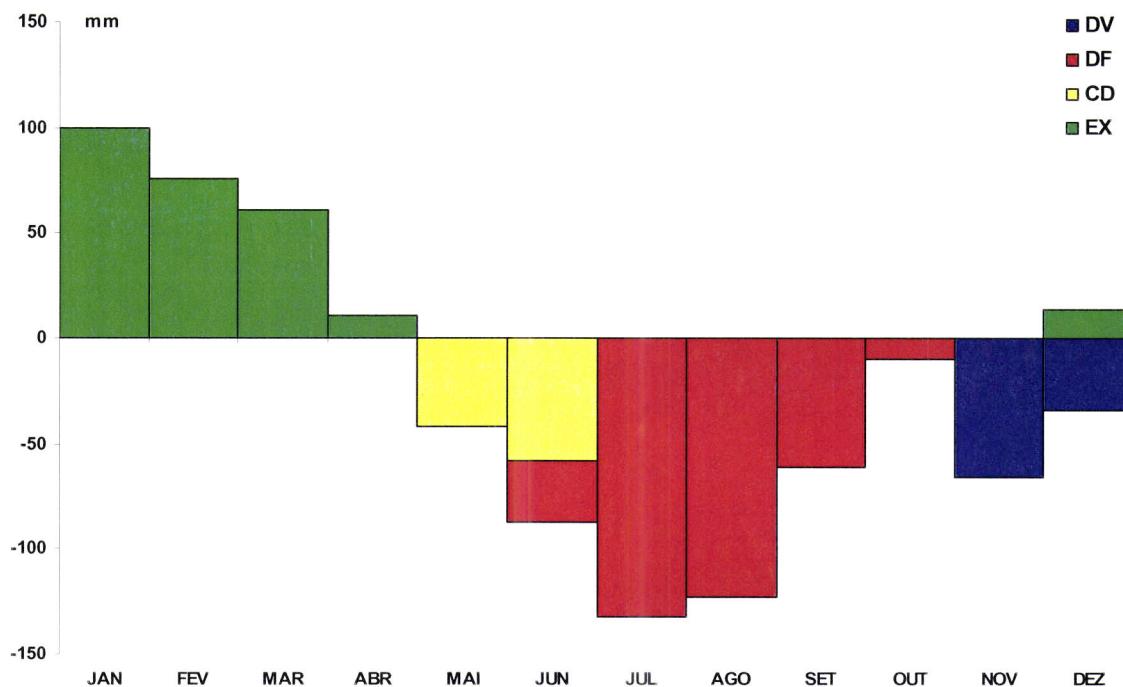


Figura 2.1.4 Balanço Hídrico da Estação Meteorológica ÉVORA/Mitra para o período de 1958-88, para uma capacidade utilizável do solo de 100 mm. DV – devolução de água ao solo; DF – deficiência de água no solo; CD – cedência de água pelo solo; EX – excesso de água.

Ocorrem cinco meses com deficiência de água no solo (Junho a Outubro), totalizando 355 mm; por oposição, serão de prever cinco meses com excesso de água no solo (Dezembro a Abril) num total de 262 mm. A recarga do solo em água, devido ao excesso da precipitação relativamente à evapotranspiração, inicia-se em Novembro e conclui-se em Dezembro.

O clima da área onde decorreu o estudo é temperado, quanto à temperatura média anual; seco, no que se refere à humidade relativa do ar; moderado, quanto à amplitude média da variação anual da temperatura do ar; moderadamente chuvoso quanto à precipitação (Reis & Gonçalves, 1985).

Considerando a classificação climática de **Thornthwaite**, o clima é sub-húmido chuvoso, mesotérmico, com grande deficiência de água no Verão e pequena concentração estival da eficiência térmica ($C_2 B_2 s_2 a'$) (Reis & Gonçalves, 1985). Ainda para estes

autores, segundo a classificação de **Köppen**, o clima é mesotérmico húmido com o Verão seco e muito quente (Csa).

No decorrer do presente estudo, observaram-se 3 anos com precipitação acima do ano médio (1997, 2001 e 2002) e 3 anos com precipitação abaixo do ano médio (1998, 1999 e 2000). Os anos de 1997 e 1998 foram aqueles em que se registou, respectivamente, o maior (1,5 vezes) e o menor (1,5 vezes) valor de precipitação total anual (Figura 2.1.5).

Considerando o período Primavera/Verão, a quantidade de precipitação foi a mais reduzida no ano de 2002, enquanto em 1997 se registou o valor mais elevado.

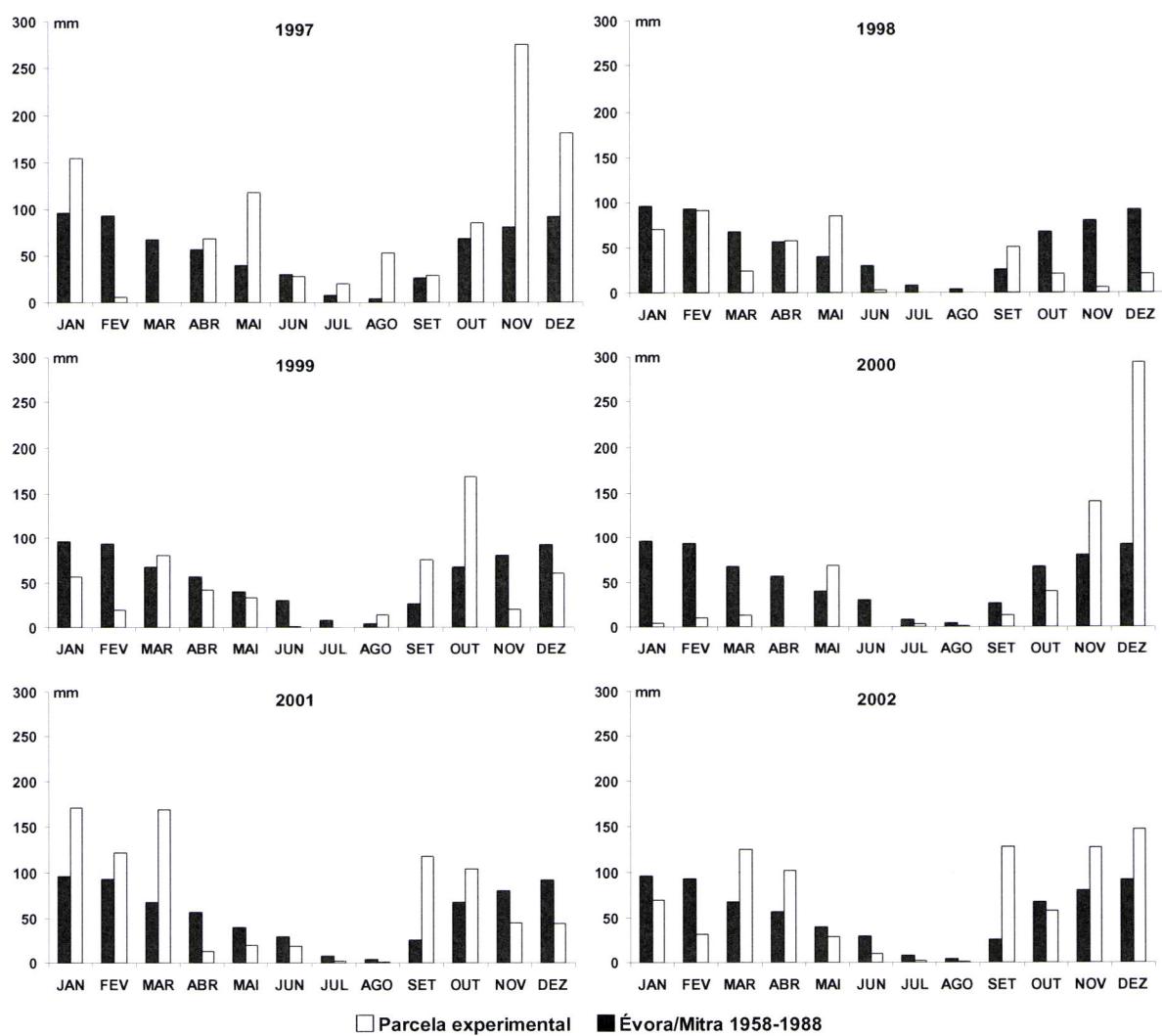


Figura 2.1.5 Valores totais mensais de precipitação observados na estação meteorológica da parcela I de 1997 a 2002 comparados com os valores médios da Estação Meteorológica ÉVORA/Mitra para o período de 1958-1988

O período Outono/Inverno com menor precipitação foi o de 1998/1999 e o de maior precipitação foi o de 2000/2001.

Durante o período experimental a variação das médias mensais da temperatura do ar foi semelhante à variação da média dos trinta anos, sendo, no entanto, de realçar um certo afastamento entre Janeiro e Maio nos anos de 1997, 1998 e 2000, e entre Outubro e Dezembro no ano de 1997 (Figura 2.1.6).

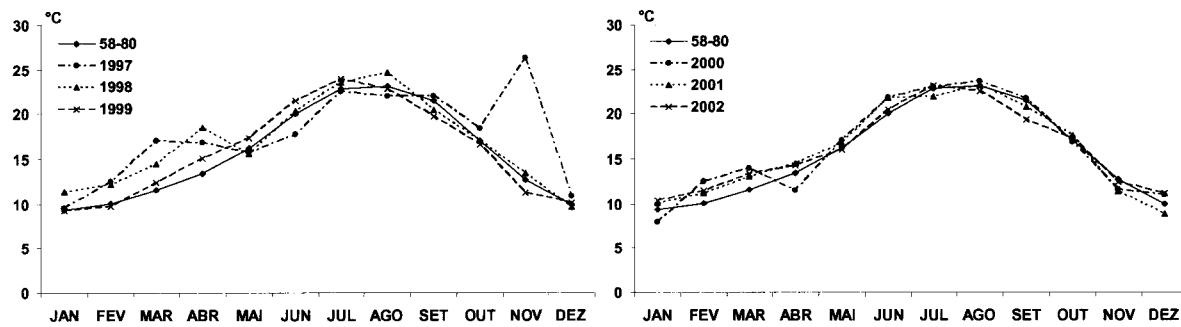


Figura 2.1.6 Variação das médias mensais da temperatura do ar observadas na estação meteorológica da parcela I de 1997 a 2002, comparadas com os valores médios da Estação Meteorológica ÉVORA/Mitra para o período de 1958-1988

2.1.3 Geomorfologia/Litologia

A Herdade da Mitra localiza-se numa zona com exposição predominantemente NW, apresentando duas áreas distintas quanto ao relevo. Uma área NE de relevo ondulado suave com declives a variarem entre 2 e 4%, na qual dominam as rochas eruptivas (quartzodioritos e granodioritos de grão médio não porfiróide) e outra área menor a SW com relevo bastante ondulado em que os declives chegam a ultrapassar os 20%, à qual se encontram associadas rochas metamórficas (gnaisses granítoides e migmatitos). A separação entre as duas áreas (Figura 2.1.7) está consubstanciada na presença de uma faixa de corneanas, geralmente anfibólicas, resultante de metamorfismo de contacto que atravessa a Herdade na direcção N-S (Carvalhosa *et al.*, 1969; Aguiar & Grilo, 1975; Condeça, 1998).

A área de estudo está integrada na grande peneplanície Alentejana; no entanto a Herdade da Mitra confina já uma zona de relevos acentuados que se estendem para Noroeste, da margem oposta da Ribeira de Valverde (Figura 2.1.7), os quais correspondem aos últimos contrafortes da Serra de Monfurado (Aguiar & Grilo, 1975).



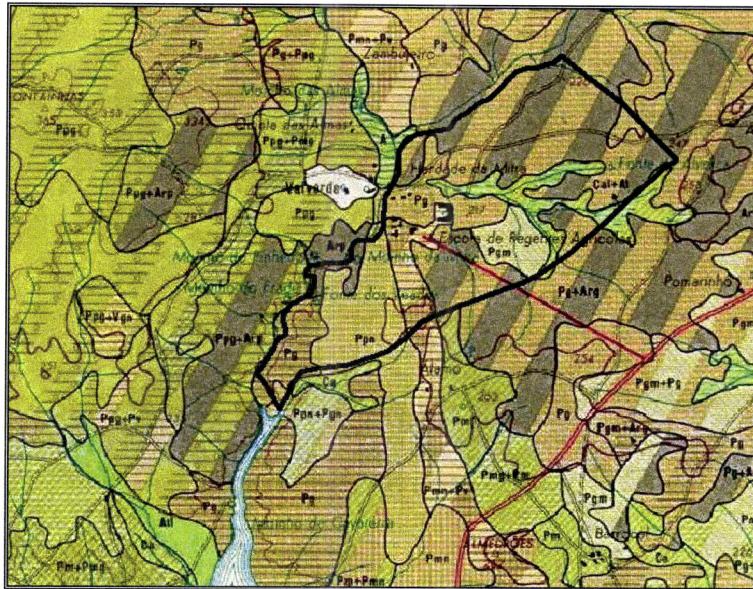
Figura 2.1.7 Implantação da Herdade da Mitra na Carta Geológica de Portugal (Escala 1:50.000), Folha 40-A, Évora.

2.1.4 Solos

A partir da informação constante da Carta dos Solos de Portugal (Escala 1:50.000), Folha 40-A, Évora (Figura 2.1.8), conclui-se que as famílias de solos predominantes na Herdade da Mitra correspondem a Solos Litólicos Não Húmicos de granitos e de gnaisses.

A conjugação da natureza litológica da Herdade da Mitra com os restantes factores de pedogénesis (biológicos, químicos e físicos) confluui no predomínio da ocorrência dos Solos Litólicos Não Húmicos Normais, frequentemente associados a afloramentos rochosos, segundo a Classificação dos Solos de Portugal (Cardoso, 1974). Além destes, ocorrem em pequena proporção Solos Mediterrâneos Pardos, Aluviossolos Modernos de textura ligeira e Solos Hidromórficos de aluviões ou coluviões de textura ligeira (Figura 2.1.8). Além disso, Aguiar & Grilo (1975) referem, ainda, os seguintes tipos de solos:

- Solos de Baixa (Coluviossolos)
- Solos Mediterrânicos Pardos de Materiais Não Calcários Para-Barros
- Solos Mediterrânicos Pardos de Materiais Não Calcários Para-Solos Hidromórficos



Pg – Solos Litólicos Não Húmicos de granitos ou rochas afins

Ppn - Solos Litólicos Não Húmicos de gneisses ou rochas afins

Pmn – Solos Mediterrâneos Pardos Normais de rochas cristalofílicas

Cal – Solos Hidromórficos de aluvões ou coluviais, de textura ligeira

AI – Aluviossolos Modernos

Figura 2.1.8 Implantação da Herdade da Mira na Carta dos Solos de Portugal (Escala 1:50.000), Folha 40-A, Évora.

O local onde foram instalados os dispositivos experimentais enquadra-se numa área caracterizada pela ocorrência de um complexo de Litossolos e de Solos Litólicos Normais de gnaisses (Aguiar & Grilo, 1975).

No local de estudo, para além dos solos que compõem o referido complexo, assumem particular importância à escala do local, os Solos Mediterrânicos Pardos de Materiais Não Calcários Normais.

Nas parcelas de estudo o solo tem, em média, cerca de 1 m de profundidade apresentando uma textura franco-arenosa (Madeira, comunicação pessoal).

2.1.5 Vegetação

Em termos de sistemas de ocupação do solo da Herdade da Mira, são de referir a existência de culturas hortícolas, culturas arbóreo-arbustivas, culturas arvenses de regadio e sequeiro, e de sistemas agro-silvo-pastoris com base no montado de sobro e azinho com oliveiras à mistura (Brandão, 1996).

Na área SW da herdade, onde predomina o aproveitamento silvo-pastoril devido à grande densidade de afloramentos rochosos e forte declive, o coberto característico é o do

montado de sobre e azinho com dominância desta última espécie. Este montado apresenta uma densidade de 35-45 árvores/hectare, em que estas se caracterizam por um DAP de 0,487 m e um diâmetro médio quadrático do povoamento de 0,503 m (David, 2000)

A vegetação potencial climatófila desta zona corresponde à série de vegetação *Pyro bourgaeanae-Querceto rotundifoliae* S., constituída por azinhais acompanhados de carapeteiros (*Pyrus bourgaeana* Decne), do tipo mesomediterrânico, de substratos siliciosos paleozóicos (Capelo, 1996).

A área envolvente das parcelas experimentais é composta por carrascal alto pertencente à associação *Hyacinthoido-Quercetum cocciferae*, que representa a primeira etapa de substituição da série acima referida (Capelo, 1996). Neste tipo de carrascal de características continentais, e para a zona em causa, é de referir a ocorrência do carrasco (*Quercus coccifera* L.), do zambujeiro (*Olea europaea* var. *sylvestris* Brot.), da murta (*Myrtus communis* L.), do medronheiro (*Arbutus unedo* L.), da aroeira (*Pistacia lentiscus* L.), do lentisco-bastardo (*Phillyrea angustifolia* L.), da madressilva (*Lonicera implexa* Aiton), da esteva (*Cistus ladanifer* L.), do rosmaninho (*Lavandula stoechas* L.), do sargaço (*Cistus salvifolius* L.) e da roselha (*Cistus crispus* L.) (Franco, 1974, 1984; Tutin *et al.* 1990, 1991, 1992, 1996, 1996_a).

Sob o ponto de vista fitossociológico as parcelas experimentais encontram-se bastante descaracterizadas dado que a espécie arbustiva dominante, o *Cistus salvifolius* L., é considerada como espécie pioneira na colonização e, portanto, indicadora da influência antropogénica em espaços abertos. Nessas parcelas podemos ainda encontrar como espécies arbustivas mais comuns, a roselha (*Cistus crispus* L.), a esteva (*Cistus ladanifer* L.), o trovisco-fêmea (*Daphne gnidium* L.), o rosmaninho (*Lavandula stoechas* L.); no que toca às espécies herbáceas encontramos como mais significativas, o bole-bole-maior (*Briza maxima* L.), a candeia (*Arisarum vulgaris* Targ-Tozz.), a *Epipactis helleborine* (L.) Crantz, a *Serapias parviflora* Parl., o fel-da-terra (*Centaurium erythraea* Rafn.), o olho-de-mocho (*Tolpis barbata* (L.) Gaertner.), o catacuzes (*Rumex bucephalophorus* L.) e o alcar (*Tuberaria guttata* L. Fourr.), entre outras (Franco, 1974, 1984; Tutin *et al.* 1990, 1991, 1992, 1996, 1996_a).

De salientar ainda nas parcelas experimentais, a ocorrência de diversas azinheiras em rebentação indiciadoras de um azinal em recuperação, o que é também confirmado pela fraca ocorrência da esteva (*Cistus ladanifer* L.), espécie esta indicadora, em situação de dominância, de solos erosionados e, portanto, sem profundidade suficiente para a regeneração de um azinal.

Devido ao referido aproveitamento silvo-pastoril da zona coexistem com as comunidades anteriormente referidas, formações do tipo herbáceo anual que se incluem na *Helianthemetea Guttati* e comunidades ruderais pertencentes à classe *Stellaria Mediae*.

2.1.6 Localização e instalação das parcelas de estudo

O presente estudo foi desenvolvido em quatro parcelas experimentais delimitadas na zona SW da Herdade da Mitra (Figura 2.1.9), à altitude de 250 m. A primeira, com cerca de 40 m x 34 m, doravante designada por parcela I (Figura 2.1.10), foi instalada especificamente para estudos de índole hidrológica³, no âmbito dos projectos “Ecologia dos montados de *Quercus suber* e *Quercus rotundifolia*: intercepção, transpiração, ciclo de nutrientes e vegetação espontânea” (INIA/PAMAF-4005-95) e “Processos hídricos, pedológicos e biológicos em montados de *Quercus suber* e *Quercus rotundifolia*” (Programa PRAXIS XXI-3/3.2/Agr/2187/95).

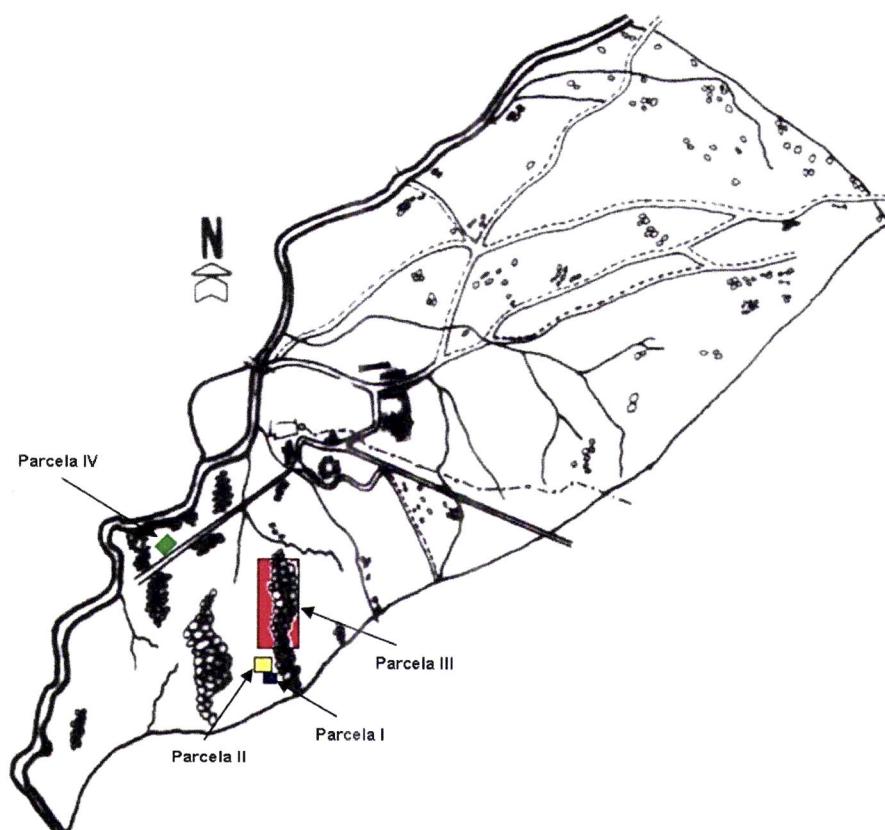


Figura 2.1.9 Planta da Herdade da Mitra (C.E.E.M.), onde se sinaliza a localização das parcelas de estudo (parcelas I ■ e II □, parcela III ■, parcela IV ■).

³ Estudos desenvolvidos por David (2000)

A segunda parcela, com cerca de 27 m x 22 m, adjacente à anterior, doravante designada por parcela II, foi instalada para fins exclusivos deste estudo, nomeadamente a recolha de solução de solo, no âmbito dos projectos referidos.

A terceira parcela, com cerca de 3 ha, doravante designada parcela III, foi instalada no âmbito das acções de ensino/investigação do Departamento de Biologia da Universidade de Évora, encontrando-se vedada ao acesso de animais desde Julho de 1991.



Figura 2.1.10 Aspecto geral da parcela I, com destaque para a azinheira onde se centraram os estudos da precipitação sob coberto.

A última parcela, com aproximadamente 0,5 ha de área, doravante designada parcela IV, foi instalada no âmbito do projecto “Efeito de acções antrópicas na dinâmica de comunidades em áreas de montado – Relações Solo-Flora-Fauna” (INIA/PAMAF-8004-97)

As parcelas I e II foram vedadas, respectivamente em 1996 e 1997, com uma cerca de arame de 2 m de altura; além disso foi necessária a colocação de rede de galinheiro sobre essa cerca, enterrada no solo até 0,5 m de profundidade e atingindo 1,0 m de altura acima do mesmo, de modo a impedir a entrada de coelhos nas parcelas e a evitar possíveis danos nos instrumentos instalados.

A parcela III encontrava-se vedada com rede ovelheira de 1 m de altura, existindo no seu interior duas áreas com 10 m x 5 m, vedadas de forma análoga à das parcelas I e II,

para instalação de diversos instrumentos, isolando-os da acção da fauna bem como de acções humanas indesejadas.

A parcela IV foi vedada em 1998, com rede ovelheira de 1,80 m de altura, existindo no seu interior, tal como na parcela III, duas áreas com 10 m x 5 m, com o mesmo objectivo das anteriores.

Na parcela I, que inclui três azinheiras espaçadas, as quais constituíram a base para o desenvolvimento de estudos de natureza hidrológica (David, 2000), procedeu-se à colheita de amostras da precipitação bruta, do gotejo (*throughfall*) (Figura 2.1.10) e do escorrido ao longo dos troncos (*stemflow*). A colheita de amostras de solução de solo foi efectuada na parcela II, onde apenas existe uma árvore da mesma espécie.

Dadas as dimensões da parcela III, a maior diversidade de situações com e sem cobertura arbórea, e o seu maior isolamento em termos temporais da acção do pastoreio, optou-se por nela realizar a maioria das actividades com vista à caracterização física e química do solo, bem como da dinâmica do azoto e do carbono.

A parcela IV foi escolhida para a instalação das microparcelas com vista ao estudo sobre o efeito da acção das árvores, bem como das condições físicas e químicas (radiação, nutrientes e humidade) a estas associadas, na formação de biomassa da vegetação herbácea. Esta escolha deveu-se ao facto da parcela em apreço ser formada por um estrato herbáceo contínuo, com 3 árvores individualizadas e um estrato arbustivo confinado a duas manchas isoladas.

Em todas as parcelas de estudo foi efectuada a monitorização do ambiente físico, variando no entanto os parâmetros medidos com as necessidades dos diferentes estudos a decorrer em cada uma das parcelas.

2.2 DETERMINAÇÕES E AMOSTRAGENS

2.2.1 Fluxo de nutrientes

A realização deste estudo foi paralela com a de estudos de natureza hidrológica no âmbito dos projectos já mencionados. Assim a colheita de amostras da precipitação bruta, da precipitação sob coberto e do escorrimento ao longo do tronco foi efectuada a partir dos dispositivos experimentais instalados para a realização desses estudos (Figura 2.2.1). Além disso, os dados respeitantes à precipitação bruta e à precipitação sob coberto, apresentados neste trabalho foram obtidos nos dispositivos visando estudos hidrológicos.

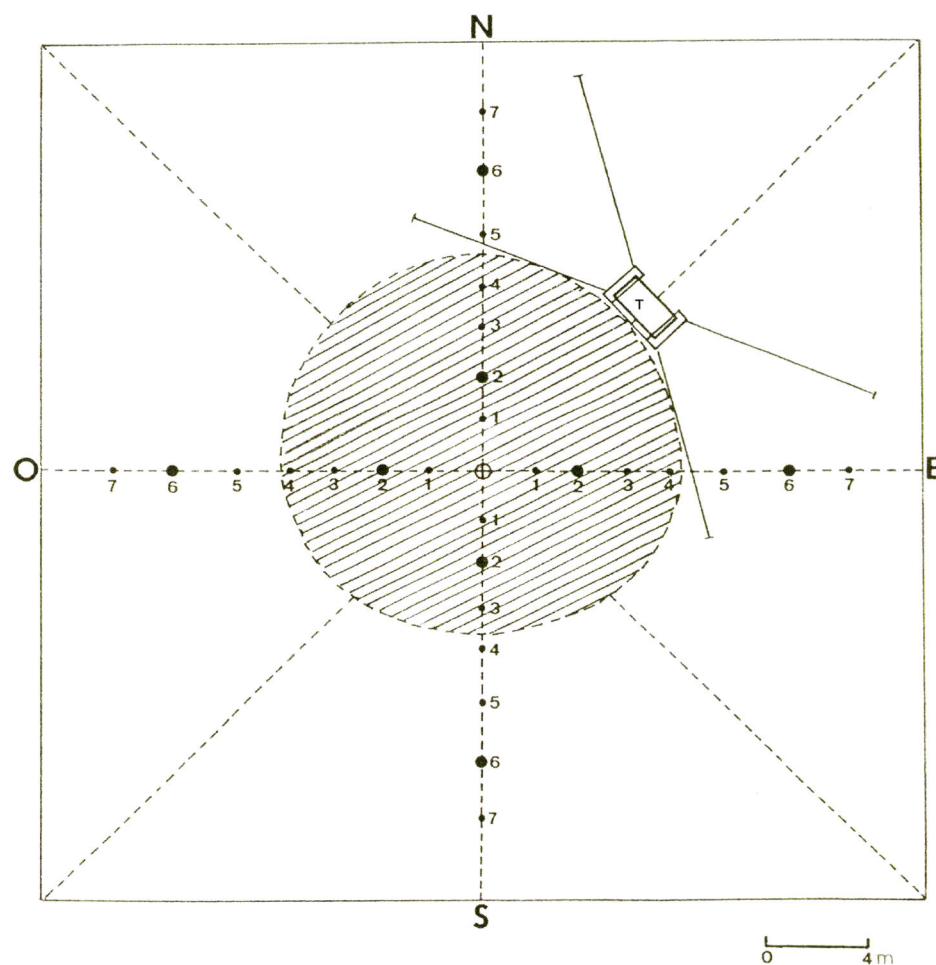


Figura 2.2.1 Disposição da rede udométrica/udográfica relativamente ao centro e à copa da árvore estudada. Os círculos mais reduzidos identificam udómetros e os maiores, udógrafos T-torre (David, 2000).

2.2.1.1 Precipitação bruta diária

A precipitação bruta diária foi colhida através de um funil de aço inoxidável instalado no cimo de uma torre com 12 m de altura localizada na parcela I (Figura 2.2.1), acima da copa das árvores (Figura 2.2.2-A). A precipitação foi canalizada por uma mangueira para um udógrafo (coberto) de báscula de 0,2 mm, modelo *ARG100* da marca *Environmental Measurements*, colocado ao nível do solo.

Na parcela IV, no interior de uma das cercas protegidas, a partir de Novembro de 2000, também foi instalado um udógrafo do mesmo modelo do anterior, para registo precipitação bruta diária que atingia o solo ao nível do estrato herbáceo das áreas sem coberto arbóreo-arbustivo.

2.2.1.2 Precipitação bruta acumulada

A precipitação bruta acumulada foi quantificada semanalmente através de dois udómetros de polietileno, compostos, cada um, por um funil, com 17,3 cm de diâmetro de boca, ligado a um recipiente com 4,5 L de capacidade, e instalados no topo da torre já referida (Figura 2.2.2-A). Para processamento analítico colheram-se amostras compostas resultantes dos dois udómetros referidos, um virado a Sul e outro a Norte.

De modo a minorar os efeitos das radiações luminosas sobre as soluções durante o período entre colheitas, especialmente a formação de algas, envolveram-se os recipientes de recolha com uma folha dupla de plástico preto. Adicionalmente, juntou-se semanalmente a cada recipiente cerca de 1 mL de clorofórmio, de modo a evitar o aparecimento de fungos.

2.2.1.3 Gotejo

A quantidade do gotejo foi obtida sob a azinheira de maior porte da parcela I, por intermédio de três udómetros dispostos respectivamente a 1,5 m, 5,2 m e 6,9 m de distância do tronco. Os dois primeiros encontravam-se sob a copa da árvore e o terceiro sob o limite da projecção vertical da mesma. Além disso, a precipitação também foi quantificada em áreas fora da projecção vertical da copa da árvore, a 9,1 e a 13,8 m de distância do respectivo tronco (Figura 2.2.2-B). Assim, em cada eixo cardeal foram colocados cinco udómetros, totalizando vinte pontos de amostragem (Figura 2.2.1).

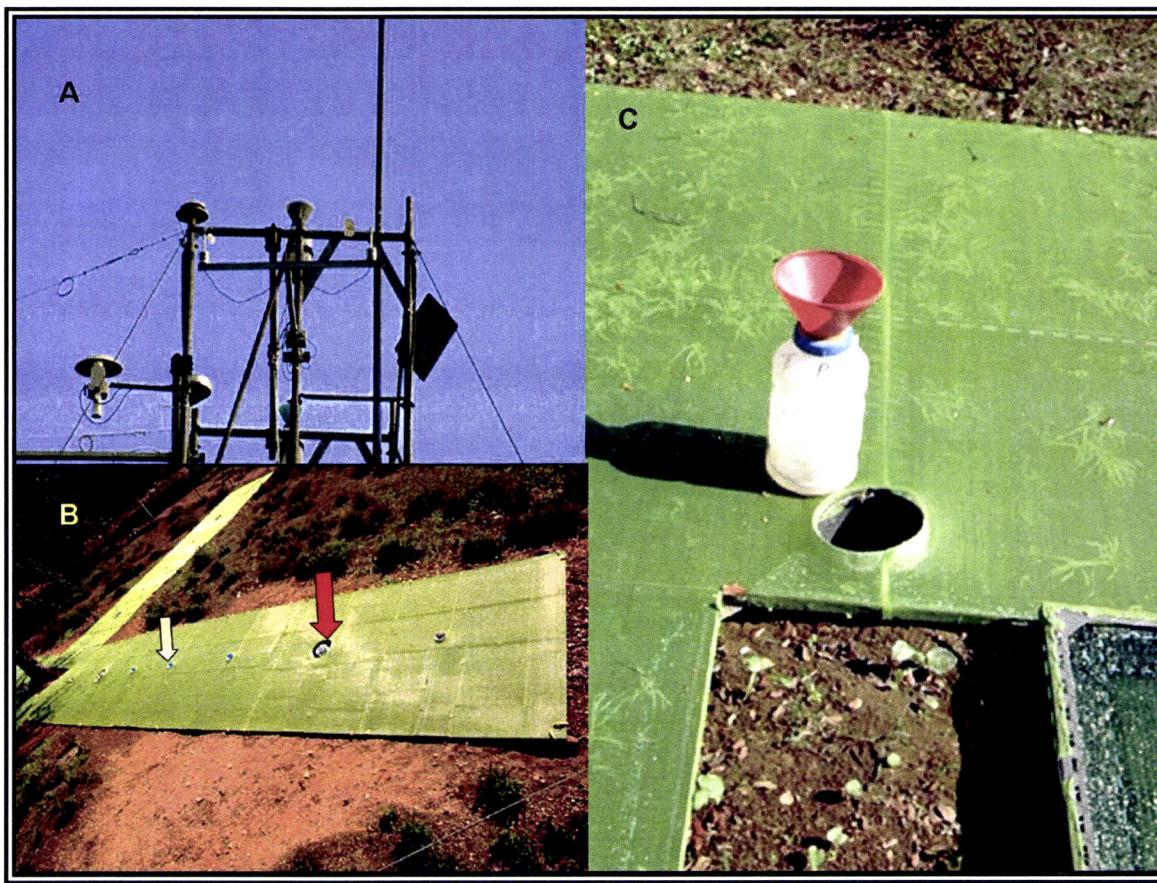


Figura 2.2.2 Pormenor da torre (A) onde se instalaram os udómetros e o funil ligado ao udógrafo para quantificação da precipitação bruta; do sistema (B) de udógrafos (seta encarnada) e udómetros (seta amarela) para quantificação do gotejo; e de um udómetro (C).

Os udómetros foram colocados no interior de orifícios abertos no solo e revestidos com tubo de PVC, ficando o topo das aberturas dos sistemas de recolha e registo ao nível da superfície do solo. Sob os referidos furos foi previamente construída uma vala de drenagem para escoamento da precipitação resultante do efeito de salpico. A superfície do solo na área onde se colocou o dispositivo foi coberta com uma tela de 2 m de largura, com o objectivo de evitar a contaminação dos udómetros e o entupimento dos udógrafos por partículas de terra (Figura 2.2.2-B).

Os udómetros, compostos por um bidon e um funil em polietileno (Figura 2.2.2-C), tal como os colocados no cimo da torre, serviram para quantificar a precipitação acumulada semanalmente, bem como para colher amostras para análise. Dado os udómetros não se encontrarem sob a acção directa das radiações luminosas, procedeu-se apenas, neste caso, à adição semanalmente de cerca de 1 mL de clorofórmio em cada um dos recipientes, os quais eram substituídos nessa altura por outros, previamente lavados com água destilada, de modo análogo aos da precipitação bruta.

2.2.1.4 Escorramento ao longo do tronco

A colheita da solução correspondente ao escorramento ao longo do tronco foi efectuada na terceira árvore da parcela I, uma vez que o dispositivo instalado para efeitos de registo deste parâmetro no tronco da árvore referida em 2.2.1 impossibilitava essa acção. Para o efeito colocou-se à volta do tronco, a uma altura de 50 a 80 cm, uma caleira helicoidal de borracha, que encaminhava a solução de escorrência para um recipiente com a função de reservatório (Figura 2.2.3).

Como reservatório utilizaram-se dois recipientes em polietileno com capacidade individual de 25 L, instalados em série, obtendo-se como capacidade total o somatório das capacidades individuais, valor este aparentemente suficiente para armazenar os volumes formados em semanas de elevada precipitação.

Semanalmente foram determinados os volumes de escorramento acumulados e colheram-se as respectivas amostras, após o que se procedeu à lavagem dos recipientes com água destilada no local de estudo e à sua colocação na mesma posição, tendo-se tido o cuidado de lhes introduzir cerca de 2,5 mL de clorofórmio e de os envolver com plástico preto.

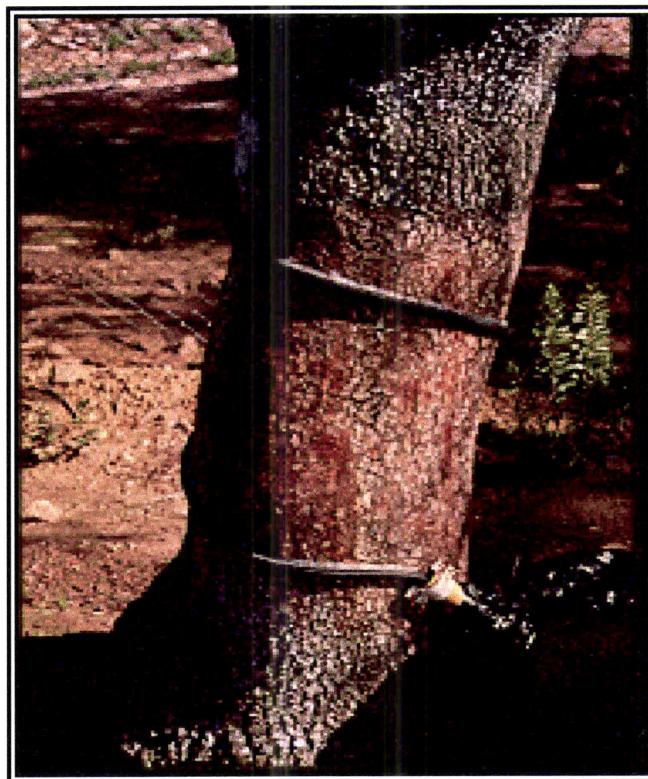


Figura 2.2.3 Aspecto parcial da parcela I, com destaque para o dispositivo de recolha do escorramento ao longo do tronco.

2.2.1.5 Solução do solo

A colheita da solução do solo foi efectuada nas parcelas I e II por intermédio de dois métodos distintos, utilizados em simultâneo: por gravidade⁴ e por sucção⁵ (Rhoades & Oster, 1986).

Para a colheita da solução do solo por gravidade instalaram-se os dispositivos de recolha em três valas de 2 m x 1 m x 0,6 m; uma na parcela I, sob a copa da árvore usada para a recolha do escorrimento ao longo dos troncos e as outras duas sob a copa da árvore da parcela II. Uma quarta vala com 8 m x 1 m x 0,6 m foi aberta na parcela II, mas para recolher a solução do solo fora da acção da copa da árvore

Cada dispositivo de colheita consistiu numa caleira em alumínio com 5 cm de diâmetro e 50 cm de comprimento, acoplada a um joelho de PVC ligado, por sua vez, a um tubo do mesmo material. A caleira foi inserida no solo, na parede das referidas valas, com inclinação suficiente de modo a facilitar o movimento da água de drenagem, tendo-se tido o cuidado de antecipadamente colocar no topo de caleira uma porção de lã de vidro que funcionasse como filtro. Para servir de reservatório da solução drenada pela caleira ligou-se um recipiente em polietileno de 2,5 L de capacidade ao tubo de PVC (Figura 2.2.4). O recipiente foi colocado no fundo da cova envolto em plástico preto com os objectivos já mencionados.

Em cada uma das valas de menores dimensões foram instalados seis dispositivos de colheita, três nos 5 cm superficiais e três a 30 cm de profundidade, o que resultou num total de dezoito dispositivos de recolha, com nove repetições para cada profundidade. Na vala de maiores dimensões da parcela II, fora da projecção vertical da copa da árvore, instalaram-se dezoito dispositivos de colheita, sendo nove à superfície e nove a 30 cm de profundidade.

Para a colheita da solução do solo por sucção utilizou-se o *Soil moisture sampling system*, modelo 12.01 da marca *Eijkelkamp – Agrisearch Equipment*, constituído por um tubo metálico com uma cápsula de cerâmica porosa num extremo (semelhante a um tensiómetro), e dois tubos de teflon no extremo oposto, através dos quais se coloca o sistema em tensão (recorrendo a uma bomba de vácuo manual) e se colhe a solução de solo que se obtém pela diferença de tensão entre o solo e o interior do tubo, por intermédio da cápsula de porcelana, para uma frasco de vidro de 250 mL envolto em papel de alumínio, no caso com a mesma função do plástico preto (Figura 2.2.5).

⁴ Sistema referido na bibliografia anglo-saxónica por *tension-free lysimeters* ou por *zero-tension lysimeters* (Jordan, 1968; Haines et al., 1982; Barbee & Brown, 1986; Marques, et al., 1996)

⁵ Sistema referido na bibliografia anglo-saxónica por *tension lysimeters*, *suction lysimeters* ou por *ceramic-cup lysimeters* (Hansen & Harris, 1975; Rhoades & Oster, 1986; Marques, et al., 1996)



Figura 2.2.4 Aspecto parcial da parcela II, com destaque para os dispositivos de colheita de solução de solo por gravidade.



Figura 2.2.5 Aspecto parcial da parcela II, com destaque para os dispositivos de recolha de solução de solo por sucção.

Na área sob a copa da árvore da parcela II, instalaram-se 10 destes dispositivos de recolha, 5 enterrados até à profundidade de 10 cm e 5 a 30 cm de profundidade. Estes 5 dispositivos foram introduzidos no solo acerca de 30 cm abaixo da superfície do solo, nas paredes do interior das valas utilizadas na recolha da solução por gravidade (Figura 2.2.5), tendo sido divididos em 2 grupos; um de 3 dispositivos e outro de 2 dispositivos, cada um deles introduzido numa das valas referidas, situadas sob a projecção vertical da copa da árvore da parcela II. A tensão aplicada em todos os tubos de succão foi de aproximadamente 4 kPa.

A amostragem foi feita semanalmente e os recipientes foram substituídos semanalmente por outros, previamente lavados com água destilada, adicionando-lhes de seguida 1 mL de clorofórmio, tal como nos recipientes de recolha das outras soluções.

2.2.2 Ambiente físico sob e fora da acção da copa das árvores

Com o objectivo de caracterizar o efeito da presença de árvores individualizadas, no ambiente físico das zonas sob acção da copa das mesmas, acima e abaixo da superfície do solo, instalaram-se diversos sensores nas diferentes parcelas de estudo, para registo contínuo de alguns dos parâmetros físicos que permitissem a referida caracterização (Figura 2.2.6). Os diferentes sensores foram ligados a *data loggers* do modelo DL da marca *Delta-T*, nas parcelas III e IV, modelo DL2e (Figura 2.2.6-F) da mesma marca na parcela II e do modelo CR10 da marca *Campbell*, nas parcelas I e IV (Figura 2.2.6-D).

2.2.2.1 Radiação solar

A média horária da radiação solar, sob e fora da copa das árvores, foi registada em contínuo, por intermédio de dois tubos solarímetros instalados sob a copa e um outro instalado fora da influência desta (Figura 2.2.6-D). Foi também instalado um destes tubos numa das microparcelas sombreadas artificialmente (ver 2.2.5.1) de forma a medir a redução da radiação causada pela rede utilizada.

2.2.2.2 Radiação fotossintéticamente activa

A média horária da radiação fotossintéticamente activa (PAR) foi registada em contínuo, por intermédio de sensores PAR colocados à superfície e a 1,20 m acima da superfície do solo (correspondente ao topo do estrato arbustivo existente na área de

estudo), colocados na área da projecção vertical da copa das árvores, no quadrante Norte, e fora da acção destas (Figura 2.2.6-B).

Na parcela em que foi estudada a produção da vegetação herbácea (Parcela IV), procedeu-se igualmente ao registo da média horária da PAR, recorrendo ao mesmo tipo de sensores, instalados ao nível da superfície e a 0,30 m acima da superfície do solo (correspondente ao topo do estrato herbáceo existente na área de estudo).

2.2.2.3 Temperatura do solo

A média horária da temperatura do solo sob a copa das árvores foi registada em contínuo usando termopares de solo do tipo Cobre-Constantan da *Delta-t*, colocados na superfície das camadas orgânicas, entre as camadas orgânicas e a superfície das camadas minerais do solo, a 2,5 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm e a 20 cm de profundidade, nos quadrantes Norte e Sul da árvore da parcela I. No quadrante Sul sob as árvores existentes na parcela IV, foram também instalados termopares na superfície do solo e a 5, 10 e 20 cm de profundidade. Fora da zona de sombreamento da copa das árvores, foi igualmente registada em contínuo a média horária da temperatura do solo, usando o mesmo tipo de termopares colocados, na superfície das camadas minerais do solo e a 2,5, 5, 10, 15 e a 20 cm de profundidade. Estes termopares foram colocados numa das áreas vedadas (10 m x 5 m), delimitadas no interior das parcelas III e IV. Nesta última, colocou-se uma série de termopares adicional, sujeitos a sombreamento artificial (2.2.5.1).

Para registo contínuo da média horária dos fluxos de calor do solo foi instalada na área sob a projecção vertical da copa da árvore da parcela II, uma placa de fluxo de calor da *Rimco, Middleton, Synchrotac*. Placas de fluxo de calor idênticas foram também instaladas fora da zona de sombreamento da copa das árvores, nas áreas de 10 m x 5 m vedadas, existentes no interior das parcelas III e IV.

2.2.2.4 Humididade do solo

A humidade do solo foi monitorizada de quatro em quatro horas e em registo contínuo, através de 20 sondas *theta-probe* da Delta-T (Figura 2.2.7), sendo 10 colocadas na área da projecção vertical da copa de uma azinheira e 10 na área fora da acção da copa da mesma. Cada um destes grupos de 10 sondas foi por sua vez dividido em 2 subgrupos: um colocado na superfície do solo e outro colocado a 25 cm de profundidade.



Figura 2.2.6 Aspecto parcial das parcelas II (A e B), III (C) e IV (D e E), com destaque para os dispositivos de recolha de dados referentes aos parâmetros físicos estudados, bem como de um Data Logger da Delta-T (F).



Figura 2.2.7 Aspecto parcial da parcela II, com destaque para duas sondas *theta-probe* da Delta-T, utilizadas na medição da humidade do solo, na área sob o coberto arbóreo (A) e na área fora da acção da copa das árvores (B).

2.2.3 Efeito da copa de *Quercus rotundifolia* nas características físicas e químicas do solo

2.2.3.1 Horizontes orgânicos

As camadas orgânicas, quase exclusivamente restrinpidas à camada L, foram amostradas, segundo os eixos cardeais, com recurso a uma quadrícula metálica (0,25 x 0,25 m), a distâncias do tronco correspondentes a 33, 66, 100, 133 e 200 % do raio da copa de 5 árvores individualizadas no interior da parcela III e em outras 5 árvores individualizadas, mas situadas fora de qualquer das parcelas do presente estudo e portanto, sujeitas à acção do pastoreio.

As amostras das 5 árvores referentes a cada uma das diferentes situações foram posteriormente agrupadas pelas distâncias ao tronco e em função dos eixos cardeais, totalizando 40 amostras; 20 na área isenta de pastoreio e 20 na área sujeita a pastoreio, para posterior processamento analítico.

2.2.3.2 Massa volúmica aparente

As amostras não disturbadas, para a determinação da massa volúmica aparente do solo foram colhidas a 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade, segundo a direcção dos quatro pontos cardeais, nos mesmos pontos em que se amostraram as camadas orgânicas (cf.2.2.3.1). Para o efeito utilizaram-se anéis de aço com 8 cm de diâmetro e 5 cm de altura, para as duas primeiras profundidades, e 10 cm de diâmetro e 8 cm de altura para a última profundidade.

2.2.3.3 Curvas de tensão de humidade

Para obtenção de curvas de pF colheram-se amostras a partir de vinte valas de 1,50 m x 0,40 m, sendo metade sob a copa das árvores e a outra metade fora da acção da copa destas. Em cada vala, foram colhidas 7 amostras não disturbadas em cada uma das três profundidades de amostragem (0-5, 5-10 e 10-15 cm); obteve-se assim, um total de 420 amostras. As amostras foram distribuídas aleatoriamente em grupos a serem submetidos a tensões correspondentes aos diferentes valores de pF a determinar (1,0; 1,8; 2,0; 2,54; 3,0;

3,5 e 4,2) em função da profundidade e da localização da vala (sob ou fora da acção da copa), num total de 10 amostras para cada um dos valores de pF.

A colheita das amostras foi realizada por intermédio de anéis de aço com 5 cm de diâmetro e 3 cm de altura, com tampa em ambos os topos de modo a permitir o seu transporte para o laboratório, devidamente acondicionadas.

2.2.3.4 Infiltração *in situ*

O efeito da presença/ausência da árvore na permeabilidade de solo foi estudado à superfície e a 15 cm de profundidade, recorrendo-se no primeiro caso a um infiltrómetro de disco⁶ e no segundo a um permeâmetro de Guelph (Figura 2.2.8). As determinações foram efectuadas sob a copa de cinco árvores individualizadas e na área circundante de cada uma delas, mas fora da zona de influência da respectiva copa, realizando-se duas determinações em cada uma das diferentes situações.

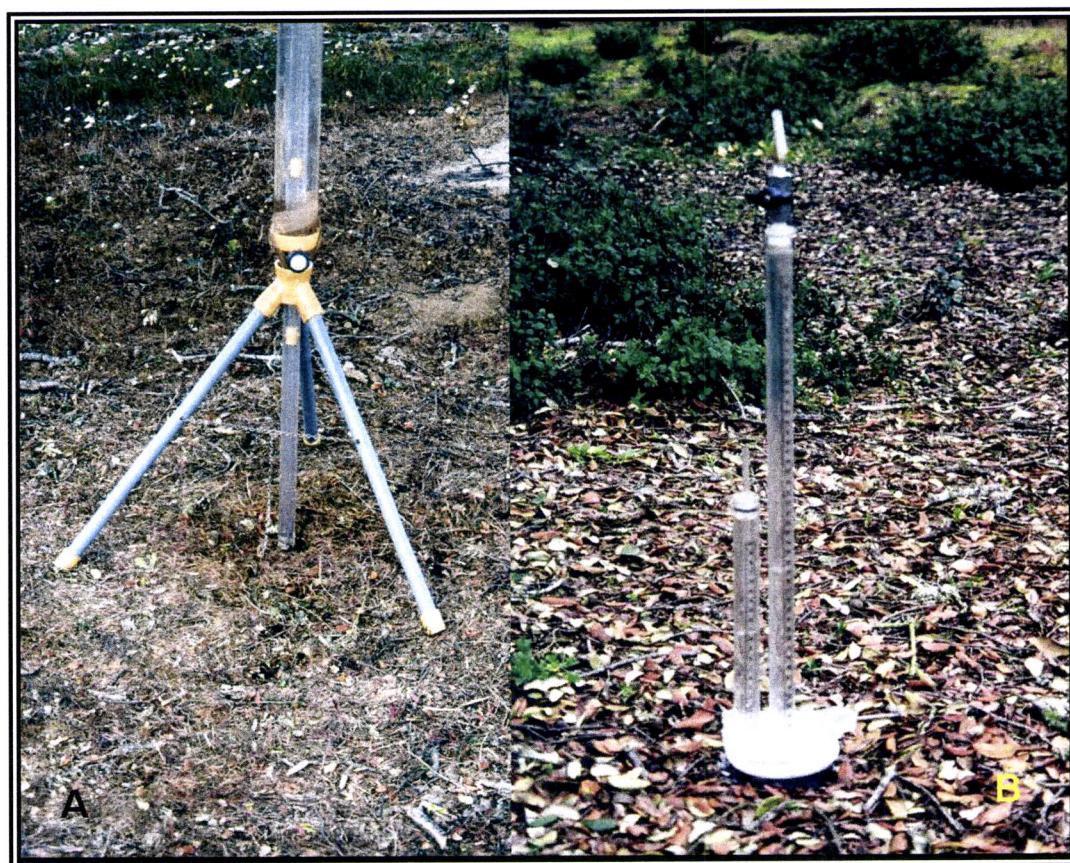


Figura 2.2.8 Aspecto parcial da parcela III, com destaque para o permeâmetro de Guelph (A) e o infiltrómetro de disco (B), utilizados na determinação da infiltração *in situ*.

⁶ Sistema referido na bibliografia anglo-saxónica por *tension disc infiltrometer* (Dirksen, 1999; Hussey & Warrick, 1995)

2.2.3.5 Caracterização química

As amostras colhidas para a determinação da massa volúmica aparente, foram posteriormente utilizadas para a caracterização química do solo, tendo sido agrupadas para este efeito segundo a distância ao tronco, o eixo cardeal e a profundidade, dando origem a um total de 120 amostras; 60 em área isenta de pastoreio e 60 em área sujeita a pastoreio.

2.2.4 Dinâmica do azoto e respiração do solo

2.2.4.1 Variação temporal e espacial da mineralização do azoto

2.2.4.1.1 Mineralização sequencial do azoto *in situ*

A dinâmica do N foi estudada com recurso à metodologia da mineralização sequencial do N *in situ* descrita por Raison *et al.* (1987). Esta metodologia, consiste na inserção no solo, de conjuntos de tubos metálicos ou em PVC, que são colhidos e substituídos de forma sequencial, conforme o nome do método indica. Em cada ponto de amostragem, e no início de cada período de amostragem, são inseridos três tubos com o cuidado de não perturbar o menos possível a estrutura do solo, distanciados a menos de 20 cm uns dos outros. Imediatamente após a introdução, um dos tubos é colhido para avaliação do N mineral no início do período de incubação. Os dois tubos restantes permanecem no solo durante o período de incubação, sendo a abertura de um deles tapada de modo a obviar perdas por lixiviação, enquanto a do outro permanece desobstruída, permitindo assim uma maior similitude entre as condições no seu interior e as do solo envolvente, no que diz respeito à variação do teor de humidade. No termo do período de incubação, os dois tubos que permaneceram no solo são colhidos, e três novos tubos são inseridos, repetindo-se o procedimento referido. Para uma descrição mais circunstanciada da técnica e das suas contingências, consultar além de Raison *et al.* (1987), Azevedo (2000), que utilizou a mesma técnica no estudo da dinâmica do N mineral em plantações de eucaliptos na região do Ribatejo e Oeste.

De modo a estudar-se o efeito da presença/ausência da *Q. rotundifolia* na dinâmica do N, escolheram-se de modo aleatório, 5 árvores individualizadas dentro da parcela III. Sob a copa de cada uma dessas árvores foram enterrados no solo até à profundidade de 20 cm, 5 conjuntos de tubos em ferro galvanizado [i.e. 5 pontos de amostragem x (1 tubo colhido de

imediato + 1 tubo incubado tapado + 1 tubo incubado destapado)], de 30 cm de altura e 5 cm de diâmetro interno (Figura 2.2.9). Para facilitar a sua inserção no solo, os tubos tinham as extremidades inferiores biseladas, e com o mesmo objectivo mas no que se refere à sua extração, possuíam dois orifícios opostos na extremidade superior. O mesmo número de tubos foi colocado nas áreas contíguas a essas cinco árvores, mas fora da acção da sua copa. Inseriram-se em cada uma das situações em estudo (sob e fora da acção das copas das árvores), 75 tubos, o que deu um total de 150 tubos por data de amostragem, dos quais 50 foram colhidos imediatamente após a inserção, e 100 ficaram no campo a incubar, metade com abertura superior protegida e a outra metade com a abertura superior desobstruída.

Após a colheita dos 150 tubos estes eram imediatamente transportados para o laboratório, para se proceder ao seu processamento no mais curto espaço de tempo possível, de modo a obviar eventuais alterações do seu conteúdo em N⁷. Assim as amostragens tinham início às 7:00 horas, de modo a decorrerem durante o período menos quente do dia, terminando normalmente por volta das 12:00 horas.



Figura 2.2.9 Aspecto parcial da parcela III, com destaque para dois conjuntos de tubos utilizados na mineralização sequencial *in situ*, nas áreas fora da acção da copa das árvores (A) e do sob coberto (B). É identificável na imagem o tubo com a extremidade coberta, ao centro, situando-se à sua direita o tubo que era colhido de imediato, e à sua esquerda o tubo com a extremidade descoberta, e que permanecia a incubar.

A periodicidade de amostragem foi mensal ou quinzenal, em função das condições de humidade do solo e dos eventos de precipitação. O período de amostragem decorreu de Outubro de 2001 a Julho de 2002.

⁷ Mais uma vez se remete o leitor para Azevedo (2000), dado este autor expor de forma bastante aprofundada os óbices e os cuidados a ter na utilização deste tipo de amostragem.

Com o objectivo de determinar qual o efeito do sombreamento na dinâmica do N, escolheram-se aleatoriamente 12 microparcelas num total de 24 microparcelas situadas fora da acção da copa das árvores, mas anexas às do ensaio destinado a estudar a acção das árvores espaçadas na formação de biomassa da vegetação herbácea (2.2.5.1). Destas doze microparcelas, seis delas estiveram sujeitas a sombreamento artificial desde Setembro de 1999 até Dezembro de 2002, enquanto as restantes seis estiveram sujeitas às condições normais de insolação.

Em cada uma destas 12 microparcelas foram enterrados no solo até à profundidade de 20 cm, 2 conjuntos de 3 tubos em ferro galvanizado [i.e. 2 pontos de amostragem x (1 tubo colhido de imediato + 1 tubo incubado tapado + 1 tubo incubado destapado)] com as mesmas características dos utilizados sob e fora da projecção vertical da copa das árvores. Inseriram-se em cada uma das situações em estudo (com e sem sombreamento artificial), 18 tubos, o que totalizou 36 tubos por data de amostragem, dos quais 12 foram colhidos imediatamente após a inserção, e 24 ficaram no campo a incubar, metade com abertura superior protegida e a outra metade com a abertura superior desobstruída.

A periodicidade de amostragem foi mensal ou quinzenal, em função das condições de humidade do solo e dos eventos de precipitação. O período de amostragem decorreu de Abril a Julho de 2002.

2.2.4.1.2 Incubações controladas em laboratório e no campo

A mineralização potencial do N do solo foi determinada por intermédio de incubações anaeróbias e aeróbias apenas por métodos biológicos. As incubações aeróbias apenas foram realizadas em laboratório, com controlo das condições de temperatura, arejamento e humidade. Utilizaram-se amostras de solo (≈ 150 g) previamente crivadas, colocadas num recipiente de vidro com $0,5\text{ dm}^3$ de volume, cobrindo-se a respectiva abertura com película aderente em polietileno, evitando-se assim a dissecação das amostras e facultando-se a sua respiração (Azevedo, 2000). Os frascos foram colocados numa estufa a $25\text{ }^\circ\text{C}$, durante 60 dias, colhendo-se sub-amostras após terem decorrido intervalos de 15 dias, para determinação do seu teor em N mineral.

A metodologia de incubação anaeróbia foi utilizada em condições laboratoriais e de campo. No primeiro caso, com controlo das condições de temperatura, arejamento e humidade; enquanto no segundo apenas se verificou controlo nas condições de arejamento e humidade, uma vez que as amostras estiveram sujeitas às variações de temperatura ocorridas no solo. Para o efeito, utilizaram-se amostras de solo (5 g) previamente crivadas, colocadas dentro de contentores roscados (50 mL de volume) e cobertas com 25 mL de

água destilada. Estes contentores foram colocados numa estufa a 40 °C, no caso das incubações em laboratório, ou enterradas no solo à profundidade e localização a que foram colhidas, durante 15 dias, após os quais se precedeu à determinação do seu teor em N mineral.

Para a colheita das amostras escolheram-se aleatoriamente 5 árvores individualizadas. Sob a copa de cada uma dessas árvores, o solo foi amostrada a 1 m de distância do tronco, segundo os eixos cardinais, dos 0-5 e dos 5-20 cm de profundidade totalizando 40 amostras. Nas áreas contíguas a essas cinco árvores, mas fora da acção da copa das mesmas, efectuou-se idêntica amostragem.

Pela junção aleatória das amostras das diferentes árvores para cada uma das profundidades, formaram-se 4 amostras por profundidade, originando 8 amostras para a área sob a copa e 8 amostras para a área fora da acção desta, num total de 16 amostras. As amostragens foram efectuadas nos meses de Abril e Dezembro de 2001.

2.2.4.2 Variação temporal e espacial da respiração do solo

A medição do efluxo de CO₂ do solo foi efectuado por intermédio de uma câmara de solo modelo 6400-09 da LI-COR, acoplada a um LI-6400 *Portable Photosynthesis System*, do mesmo fabricante (Figura 2.2.10). Para o efeito e de modo a permitir leituras sempre no mesmo local, instalaram-se no solo sob a copa de cinco árvores, grupos de 3 anéis de PVC com 10,5 cm de diâmetro por 5 cm de altura. O mesmo número de anéis foi colocado nas áreas contíguas a essas cinco árvores, mas fora da acção da copa das mesmas.



Figura 2.2.10 Aspecto parcial da parcela III, com destaque para a câmara de solo modelo 6400-09 (A) e para o anel de PVC (B), utilizados na medição do efluxo de CO₂ do solo

As leituras obedeceram a uma periodicidade quinzenal, excepto quando, por indisponibilidade do LI-6400 devido ao elevado número de utilizadores deste aparelho de multifunções, houve necessidade de optar por leituras mensais.

2.2.5 Efeito da copa de *Quercus rotundifolia* na produtividade e composição química da vegetação herbácea do sob coberto, em resultado das alterações da radiação e da disponibilidade em água e nutrientes

2.2.5.1 Sistema experimental

Para estudar a acção das árvores espaçadas na formação de biomassa da vegetação herbácea, e tentando isolar os efeitos físicos e químicos (variação da radiação, teor de humidade do solo e disponibilidade em nutrientes) associados à presença das copas, recorreu-se, durante 2000/2001 e 2001/2002 a um sistema experimental, constituído por um conjunto de 36 microparcelas experimentais (1 m x 1 m), das quais 12 foram instaladas sob a copa das árvores e as restantes ficaram situadas fora da acção da copa destas. Todas as microparcelas foram protegidas por rede metálica (Figura 2.2.11).

Das 24 microparcelas instaladas fora da acção das copas das árvores, 12 foram sujeitas a uma redução da radiação em resultado da cobertura das microparcelas com rede de sombreamento, determinando uma percentagem de redução da radiação (70 a 80%) equivalente àquela que ocorre no sob coberto da azinheira (Figura 2.2.11-D). Obtiveram-se assim 3 grupos de 12 microparcelas: um sob a acção da copa das árvores (AZ), outro com sombreamento artificial (RR) e o terceiro com insolação em condições normais (RT).

Às microparcelas de cada um dos grupos anteriores, para além do controlo ou referência (REF), foram ainda aplicados os três seguintes tratamentos: rega (REG), fertilização (FRT) e fertilização e rega (FRG). O primeiro destes três tratamentos consistiu na aplicação sempre que necessário, de 10 litros de água destilada em cada micro-parcela. No segundo procedeu-se à aplicação no início do ciclo vegetativo de 52 kg há⁻¹ de N e de 63 kg há⁻¹ de P (P₂O₅). O terceiro tratamento resultou da aplicação simultânea dos dois tratamentos anteriores.



Figura 2.2.11 Aspecto parcial da parcela IV, com destaque para as parcelas fertilizadas e regadas (A), fertilizadas e regadas no sob coberto (B) e sem fertilização nem rega no sob coberto (C). São também destacados os dispositivos de sombreamento (D)

Em resultado da conjugação das diferentes situações obtiveram-se os seguintes 12 tratamentos diferentes com 3 repetições cada:

- ▲ Microparcelas instaladas fora da acção da copa das árvores com insolação em condições normais (RT)

REF – referência

FRT – aplicação de fertilizantes

REG – aplicação de rega

FRG – aplicação de fertilizantes e rega

- ▲ Microparcelas instaladas fora da acção da copa das árvores, mas sombreadas artificialmente (RR)

REF – referência

FRT – aplicação de fertilizantes

REG – aplicação de rega

FRG – aplicação de fertilizantes e rega

▲ Microparcelas instaladas sob a copa das árvores (AZ)

REF – referência

FRT – aplicação de fertilizantes

REG – aplicação de rega

FRG – aplicação de fertilizantes e rega

2.2.5.2 Amostragem

A biomassa da vegetação herbácea foi amostrada, na primavera de 2001 e 2002 a partir de quadrados de 0,25 m² localizados no centro de cada uma das microparcelas, de modo a minimizar o efeito da margem. As plantas foram cortadas rente ao solo, removidas imediatamente e separadas em três grandes grupos, monocotiledóneas, dicotiledóneas e leguminosas.

2.3 Métodos Laboratoriais

2.3.1 Mediçãoes

De modo a determinar-se a área foliar para cada grupo de plantas (monocotiledóneas, dicotiledóneas e leguminosas) em função dos diferentes tratamentos, em cada amostra tratada determinou-se em fresco, a área foliar de uma sub-amostra de cada grupo de plantas (ou do total no caso de a quantidade da amostra assim o obrigar) de modo a permitir o cálculo da respectiva área por extração. Estas áreas foliares parciais foram medidas por intermédio de um medidor de área foliar modelo LI-3000A da LI-COR, inc.

2.3.2 Preparação das amostras para análise

2.3.2.1 Soluções

As amostras das soluções correspondentes à precipitação bruta, à precipitação sob coberto, ao escorrimento ao longo do tronco e à solução do solo da colheita semanal correspondentes à primeira semana de cada quinzena, foram mantidas no frigorífico até ao final do respetivo período quinzenal de amostragem, após o que se procedeu à formação de amostras compostas por mistura, em quantidades proporcionais aos volumes de solução

quantificados em cada semana. Estas amostras compostas foram de seguida filtradas num sistema sob vácuo da marca *Sartorius*, através de uma membrana de nitrato de celulose com uma porosidade de 0,45 µm de diâmetro, sendo imediatamente congeladas até ao respectivo processamento analítico.

2.3.2.2 Materiais orgânicos

As sub-amostras das camadas orgânicas do solo, bem como das plantas de cada grupo (monocotiledóneas, dicotiledóneas e leguminosas) separadas para cada corte das diferentes parcelas de cada tratamento, bem como as respectivas sub-amostras para determinação da área foliar, foram secas a 80° C, em estufa durante 48 horas, para obtenção do respectivo peso seco. Após esta secagem os materiais orgânicos foram moídos num moinho centrífugo com um crivo de malha de 0,5 mm.

2.3.2.3 Materiais terrosos

As amostras não disturbadas das camadas minerais do solo, após a determinação da massa volúmica aparente, foram passadas por um crivo com malha de 2 mm de diâmetro, a fim de separar os elementos grosseiros da terra fina (partículas de diâmetro inferior a 2 mm), sendo de seguida ambas as fracções pesadas numa balança marca *METTLER* modelo *Toledo PB 3002* com uma precisão de 10 mg. Da fracção terra fina foram colhidas sub-amostras destinadas ao respectivo processamento analítico.

As amostras de terra para o estudo da dinâmica do N através da metodologia da mineralização sequencial do N *in situ* foram extraídas dos diferentes tubos, separadas por profundidades (0-10 e 10-20 cm) e agrupadas segundo o tipo, numeração e situação do tubo {ex. tubo coberto nº1 (árvore 1) + tubo coberto nº1 (árvore 2) ++ tubo coberto nº1 (árvore 5)}. De seguida foram crivadas através de um crivo, com malha de 3,15 mm de diâmetro, a fim de separar os elementos grosseiros, sendo subsequentemente ambas as fracções pesadas na balança já referida, e retiradas três sub-amostras da fracção isenta de elementos grosseiros.

Duas destas sub-amostras foram colocadas em duas estufas durante 48 horas; uma a 105° C para determinação do teor de humidade, e a outra a 50° C para posterior determinação do N e C totais.

As amostras de terra destinadas ás incubações aeróbias e anaeróbias foram separadas por profundidades (0-5 e 5-20 cm) e agrupadas segundo os eixos cardeais, e

situação face à copa das árvores. De seguida foram crivadas através de um crivo, com malha de 3,15 mm de diâmetro, a fim de separar os elementos grosseiros, sendo subsequentemente ambas as fracções pesadas na balança já referida, e retiradas três sub-amostras da fracção isenta de elementos grosseiros.

Duas destas sub-amostras foram colocadas em duas estufas durante 48 horas; uma a 105° C para determinação do teor de humidade, e a outra a 50° C para posterior determinação do azoto e carbono totais.

As amostragens quinzenais efectuadas no processo de incubação aeróbia foram sujeitas à mesma metodologia de determinação de humidade e de extracção.

2.3.3 Métodos analíticos

2.3.3.1 Soluções

O pH foi directamente determinado nas soluções, pelo método electrométrico, utilizando um potenciómetro digital da marca Metrohm, modelo 691, com precisão até 0,01.

A concentração de Ca, Mg, K e Na nas soluções (precipitação bruta, sob coberto, escorrimento ao longo do tronco e solução do solo) foi determinada por espectrofotometria de absorção atómica (EAA); a de P foi determinada colorimetricamente (Murphy & Riley, 1962). O NH₄⁺ foi determinado através do método do fenol-nitroprussiato (Dorich & Nelson, 1983). Os aníões (Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻) foram determinados por cromatografia iônica.

2.3.3.2 Materiais orgânicos

O N (Kjeldahl) dos materiais orgânicos foi determinado por intermédio de um sistema de destilação Kjeltec Auto 1030 Analyzer. A solubilização dos elementos minerais (K, Mg, Ca, Mn e P) foi efectuada num digestor CEM Microave Digestion System Model MDS-2000. Para o efeito colocou-se 0,5 g de material em tubos LDV (Line Digestion Vessel), em contacto com 10 mL de HNO₃ concentrado a 65%. A solução resultante foi evaporada em copos de "Fourneau", solubilizando-se o resíduo pela adição de 10 mL de HCl 3 M. A concentração de Ca, Mg, K e Na nos extractos de materiais orgânicos, foi determinada por EAA; a de P foi determinada colorimetricamente (Murphy & Riley, 1962).

2.3.3.3 Materiais terrosos

A massa volúmica aparente das amostras das camadas minerais do solo colhidas por intermédio de anéis foi determinada após a sua secagem numa estufa a 105° C durante 72 horas.

Os valores de pF do solo até 3,5, foram obtidos pelo método da placa de pressão, usando um *Pressure Plate Extractor* (5 bar) da Soil Moisture, enquanto para pF 4,2 se recorreu ao método da membrana de pressão através de um *Ceramic Plate Extractor* (15 bar) da mesma empresa.

O pH dos materiais terrosos foi determinado numa suspensão de solo em água e KCl 1 M (suspensão 1:2,5) por intermédio do método electrométrico. O C orgânico total foi determinado através da medição do volume de dióxido de carbono libertado pela combustão de uma amostra de 1g, a 1200° C, realizada num aparelho da marca *Ströhlein Instruments*. O N foi determinado pelo método acima mencionado. As bases de troca (Ca, Mg, K, Na) foram extraídas por uma solução de acetato de amónio ajustada a pH 7. O P e o K extraíveis foram obtidos pelo método de Egnér-Riehm. A concentração de Ca, Mg, K e Na nos extractos de materiais terrosos foi determinada por EAA; a de P foi determinada colorimetricamente (Murphy & Riley, 1962). O NH_4^+ foi determinado através do método do fenol-nitroprussiato (Dorich & Nelson, 1983).

As sub-amostras de terra resultantes da metodologia da mineralização sequencial do N *in situ* foram submetidas a uma extracção com KCl 2M (4g de terra com 20 mL de KCl 2M), agitando-as durante uma hora. Finda esta agitação, procedeu-se à centrifugação dos extractos a 3.500 rpm durante sete minutos, seguindo-se a respectiva filtragem. Os extractos foram imediatamente congelados para posterior processamento analítico.

As sub-amostras de terra respeitantes à situação inicial das diferentes incubações, bem como das amostragens quinzenais da incubação aeróbia, foram sujeitas a um processo de extracção com KCl 2M (5 g de terra com 50 mL de KCl 2M), após o que se realizou a agitação da suspensão durante uma hora. Fendo este período procedeu-se à centrifugação dos extractos a 3.500 rpm durante sete minutos, seguindo-se a respectiva filtragem. Os extractos foram imediatamente congelados para posterior processamento analítico.

Aos contentores utilizados nas incubações anaeróbias foram-lhes adicionados, no final do período de incubação, 25 mL de KCl 4M, obtendo-se assim um extractante 2M (proporção de 1:10). De seguida foram agitadas durante uma hora, ao fim da qual se introduziram numa centrifuga que possuía recipientes de dimensão suficiente para conterem

os contentores dos extractos. Estes foram centrifugados a 3.500 rpm durante sete minutos, filtrados e congelados de imediato para posterior processamento analítico.

Em qualquer das extracções, os teores em N [NH_4^+] e N [NO_3^-] foram determinados por métodos de espectrofotometria de absorção molecular em analisador automático de fluxo segmentado (Houba *et al.*, 1994). A determinação do teor em N [NH_4^+] foi baseado na reacção de Berthelot e o teor em N [NO_3^-] foi determinado pelo reagente de Griess-Ilosvay após redução numa coluna de cádmio.

2.4 Cálculos e Métodos Estatísticos

2.4.1 Fluxo de nutrientes

As concentrações das várias espécies iónicas determinadas na precipitação bruta, no gotejo, no escorrimento ao longo do tronco e na solução do solo foram expressas em $\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$. As concentrações iónicas no gotejo para cada período de amostragem foram representadas pela média das concentrações determinadas nas 11 amostras correspondentes aos 11 udómetros situados sob a copa da árvore.

Ao expressar-se a concentração da precipitação para as diferentes distâncias ao tronco da árvore, estas foram representadas pela média das concentrações determinadas nas 4 amostras correspondentes aos 4 udómetros situados a igual distância do tronco, excepto para a distância correspondente ao limite da projecção vertical da copa da árvore, uma vez que se eliminaram as amostras referentes ao udômetro do quadrante Sul por se encontrar fora dessa projecção.

Efectuou-se uma análise estatística descritiva sumária para as concentrações obtidas na precipitação bruta, no gotejo, no escorrimento ao longo do tronco e na solução do solo, calculando-se a média aritmética, a mediana, o erro padrão, o desvio padrão, o coeficiente de variação, o máximo, o mínimo e a média ponderada pelo volume. A comparação entre os valores médios dos parâmetros foi efectuada com recurso à estatística não paramétrica, através de testes *H* de Kruskal-Wallis (Sokal & Rohlf, 1995), dado não ter sido possível normalizar e homogeneizar as variâncias das amostras, seguidos de testes de comparação múltipla específicos (Sprent, 1993) quando se procedeu à comparação de mais do que dois valores médios. As diferenças foram consideradas significativas para $p \leq 0.05$ (Sokal & Rohlf, 1995).

Estudaram-se as relações entre as concentrações iónicas determinadas na precipitação por intermédio de correlações de Pearson, bem como, da análise *cluster*, pelo

método de *Ward*, com “standardização” prévia dos dados de cada um dos iões. A estrutura dessa relação foi avaliada com recurso à Análise de Componentes Principais com rotação dos vectores pelo método *Varimax*. O número de componentes consideradas foi determinado através do critério de *Kaiser* (Pestana & Gageiro, 1988).

A origem marinha e não marinha dos iões Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} e SO_4^{2-} , foi calculada usando o ião Cl^- como marcador, e as razões molares entre esses iões e o Cl^- na água marinha como factor de cálculo (Colin *et al.*, 1987).

Ajustaram-se modelos de regressão simples entre as concentrações dos diferentes iões e os respectivos volumes para as diferentes soluções de precipitação, considerando-se o coeficiente de determinação (R^2) significativo para $p \leq 0.05$ (Sokal & Rohlf, 1995).

Os fluxos de deposição (F , kg ha^{-1}) resultantes da precipitação bruta, do gotejo e do escorrimento ao longo do tronco, para cada período de amostragem, foram calculados através da expressão⁸:

$$F = \frac{CI \times VL}{10^2} \quad (2.1)$$

onde:

CI – concentração iônica (mg L^{-1}) e;

VL – volume referente à amostra (L m^{-2})

Para o cálculo dos fluxos anuais utilizou-se a seguinte fórmula:

$$F = \frac{1}{10^2} \sum_{i=1}^n CI_i \times VL_i \quad (2.2)$$

onde:

n – número anual de amostras;

CI_i – concentração iônica (mg L^{-1}) no período i ($i = 1, \dots, n$) e;

VL_i - volume referente à amostra (L m^{-2}) do período i ($i = 1, \dots, n$).

Os fluxos devidos ao escorrimento ao longo do tronco foram calculados considerando o volume da amostra expresso em L m^{-2} , mas considerando três áreas de recepção

⁸ O factor $1/10^2$ na expressão, advém da conversão de m^2 a ha e da passagem mg a kg , que implicam respectivamente a multiplicação por 10^4 e a divisão por 10^6 , que se converte numa divisão por 10^2 .

diferentes, uma a referente à área da copa e outras três considerando como área de influência, uma coroa circular com respectivamente, 0,25, 0,50 e 1 m à volta do tronco.

Ajustaram-se modelos de regressão simples entre os fluxos dos diferentes iões e os respectivos volumes para as diferentes soluções de precipitação, considerando-se o coeficiente de determinação (R^2) significativo para $p \leq 0.05$ (Sokal & Rohlf, 1995).

Estimaram-se as percentagens dos fluxos resultantes da precipitação interna líquida, correspondentes à deposição seca e ao balanço absorção/lixiviação da copa, recorrendo ao modelo proposto por Ulrich (1983). Este modelo assume que o Na presente na precipitação interna tem origem na deposição seca, e que as partículas que contêm Ca, Mg e K apresentam o mesmo diâmetro daquelas que contêm Na, pelo que a quantidade de deposição seca destes iões pode ser determinada através da seguinte expressão:

$$DS_x = DS_f \times PB_x, \quad (2.3)$$

onde:

DS_x – deposição seca em (kg ha^{-1}) do ião x ($x = \text{Ca, Mg e K}$);

PB_x – fluxo em (kg ha^{-1}) do ião x ($x = \text{Ca, Mg e K}$) devido à precipitação bruta e

$$DS_f = \frac{(GO_{Na} + ELT_{Na}) - PB_{Na}}{PB_{Na}}, \quad (2.4)$$

onde:

GO_{Na} – fluxo em (kg ha^{-1}) do ião Na devido ao gotejo;

ELT_{Na} – fluxo em (kg ha^{-1}) do ião Na devido ao escorrimento ao longo do tronco e

PB_{Na} – fluxo em (kg ha^{-1}) do ião Na devido à precipitação bruta.

A lixiviação da copa determina-se a partir da seguinte equação:

$$L_x = (GO_x + ELT_x) - PB_x - DS_x, \quad (2.5)$$

onde:

GO_x – fluxo em (kg ha^{-1}) do ião do ião x ($x = \text{Ca, Mg e K}$) devido ao gotejo;

ELT_x – fluxo em (kg ha^{-1}) do ião do ião x ($x = \text{Ca, Mg e K}$) devido ao escorrimento ao longo do tronco;

PB_x – fluxo em (kg ha^{-1}) do ião do ião x ($x = \text{Ca, Mg e K}$) devido à precipitação bruta e

DS_x – a deposição seca do ião x ($x = \text{Ca, Mg e K}$).

2.4.2 Ambiente físico sob e fora da acção da copa das árvores

Os cálculos relativos à radiação solar global (G), à radiação fotossintéticamente activa (PAR) e à temperatura do solo foram efectuados escolhendo-se a última semana dos meses de Março, Junho, Setembro e Dezembro, por coincidirem com início, respectivamente, da Primavera, do Verão do Outono e do Inverno.

No estudo da radiação incidente e da radiação fotossintéticamente activa, determinaram-se as médias horárias das 4 semanas, para as diferentes situações dos sensores, expressas respectivamente em W m^{-2} e $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Calculou-se igualmente as médias semanais do valor acumulado diário, expressas respectivamente em $\text{Mj m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ e $\text{moles m}^{-2} \text{dia}^{-1}$. Com base nestes valores foram calculados as percentagens da intercepção ocorrida na radiação solar e na PAR, por efeito da presença da copa das árvores e do estrato arbustivo, usando a seguinte expressão:

$$R_x = \frac{RI_x - RT_x}{RI_x} \times 100, \quad (2.6)$$

onde:

R_x – Radiação interceptada (x = radiação solar ou PAR);

RI_x – Radiação incidente (x = radiação solar ou PAR) e

RT_x – Radiação transmitida (x = radiação solar ou PAR).

Os cálculos foram todos efectuados, considerando que qualquer uma destas radiações durante o período nocturno era igual a zero.

Para a temperatura do solo, determinaram-se as médias horárias das 4 semanas, para as diferentes situações dos sensores, expressas em $^{\circ}\text{C}$.

O teor de humidade do solo foi expresso em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, tendo-se calculado o valor médio diário para as duas profundidades medidas, sob e fora da acção da copa das árvores.

2.4.3 Efeito da copa de *Quercus rotundifolia* nas características físicas e químicas do solo

Os valores médios da massa dos horizontes orgânicos e da massa volúmica do solo foram calculados segundo a distância ao tronco e os eixos cardinais, e para as diferentes profundidades no caso do segundo, separando as áreas com pastoreio das sem pastoreio.

Os valores dos horizontes orgânicos foram extrapolados para a área de um metro quadrado. A quantidade da matéria orgânica foi estimada a partir dos pesos secos médios das amostras dos horizontes orgânicos, considerando que o teor em matéria orgânica dessas amostras corresponde à diferença para 100, do seu teor em cinza. Os cálculos das quantidades de nutrientes acumulados por área de solo foram efectuados a partir dos valores das concentrações de nutrientes e das massas totais das camadas orgânicas.

A massa volúmica aparente das camadas minerais do solo foi calculada através da razão entre a massa de solo seco (105°C) contida no cilindro de amostragem e o volume interno do mesmo.

As médias dos valores de pF foram calculadas para cada uma das profundidades e nas áreas sob e fora da projecção vertical da copa da árvore. Os valores médios de pF foram expressos em percentagem de volume de solo.

As concentrações médias dos diferentes elementos, nas camadas minerais do solo foram calculadas, segundo a distância ao tronco, os eixos cardinais, e para as diferentes profundidades, separando as áreas com pastoreio das sem pastoreio, e expressos em relação à terra fina, e em kg ha^{-1} .

Os valores médios da infiltração *in situ* foram calculados para o conjunto das cinco árvores e para o das cinco áreas fora da sua acção.

Por não ter sido possível normalizar e homogeneizar as variâncias das amostras, a comparação entre os valores médios dos diferentes parâmetros, foi efectuada com recurso à estatística não paramétrica, através de testes *U* de *Mann-Whitney* ou por testes *H* de *Kruskal-Wallis* (Sokal & Rohlf, 1995), seguidos de testes de comparação múltipla específicos (Sprent, 1993) quando se procedeu à comparação de mais do que dois valores médios. As diferenças foram consideradas significativas para $p \leq 0.05$ (Sokal & Rohlf, 1995).

2.4.4 Dinâmica do azoto e respiração do solo

No estudo da dinâmica do N com recurso à mineralização sequencial *in situ*, a mineralização líquida de N foi calculada para cada um dos períodos de incubação, determinando-se a variação do N mineral através da seguinte expressão:

$$ML = \left(N\left[NH_4^+ \right] + N\left[NO_3^- \right] \right)_{tc_i} - \left(N\left[NH_4^+ \right] + N\left[NO_3^- \right] \right)_{ti}, \quad (2.7)$$

onde:

ML – mineralização líquida;

tc_i – teor nos tubos cobertos no final do período de incubação *i* e

t_i – teor nos tubos amostrados imediatamente no início do período de incubação *i*.

Quando o valor que se obteve foi negativo, ocorreu imobilização líquida para o período considerado.

Da expressão anterior facilmente se depreende que a amonificação e a nitrificação líquidas, podem ser calculadas através das equações seguintes:

$$AL = \left(N\left[NH_4^+ \right] \right)_{tc_i} - \left(N\left[NH_4^+ \right] \right)_{ti}, \quad (2.8)$$

onde:

AL – amonificação líquida;

tc_i – teor nos tubos cobertos no final do período de incubação *i* e

t_i – teor nos tubos amostrados imediatamente no inicio do período de incubação *i*.

$$NL = \left(N\left[NO_3^- \right] \right)_{tc_i} - \left(N\left[NO_3^- \right] \right)_{ti}, \quad (2.9)$$

onde:

NL – nitrificação líquida;

tc_i – teor nos tubos cobertos no final do período de incubação *i* e

t_i – teor nos tubos amostrados imediatamente no inicio do período de incubação *i*.

As perdas de N por lixiviação foram por sua vez determinadas recorrendo à equação:

$$N_l = \left(N\left[NH_4^+ \right] + N\left[NO_3^- \right] \right)_{tc_i} - \left(N\left[NH_4^+ \right] + N\left[NO_3^- \right] \right)_{td_i}, \quad (2.10)$$

onde:

N_l – N lixiviado;

tc_i – N nos tubos cobertos no final do período de incubação i e

td_i – N nos tubos descobertos no final do período de incubação i .

Da expressão anterior facilmente se depreende, que as perdas de N apenas sob a forma amoniacal ou sob a forma nítrica podem ser obtidas utilizando apenas o teor em N amoniacal ou nítrico, no lugar da soma dos dois teores

Para o cálculo do N absorvido, recorreu-se à seguinte expressão:

$$N_a = \left(N\left[NH_4^+ \right] + N\left[NO_3^- \right] \right)_{td_i} - \left(N\left[NH_4^+ \right] + N\left[NO_3^- \right] \right)_{t_{i+1}}, \quad (2.11)$$

onde:

N_a – N absorvido;

td_i – N nos tubos descobertos no final do período de incubação i e

t_{i+1} – N nos tubos amostrados imediatamente no inicio do período de incubação $i+1$.

Tal como para as perdas de N, a absorção de N apenas sob a forma amoniacal ou sob a forma nítrica, pode ser obtida utilizando apenas o teor em N amoniacal ou nítrico, no lugar da soma dos dois teores.

No estudo do potencial mineralização com recurso a técnicas de incubação aeróbia e anaeróbia, a mineralização líquida de N foi calculada para cada um dos períodos de incubação, determinando-se a variação do N mineral através da seguinte expressão:

$$ML = \left(N\left[NH_4^+ \right] + N\left[NO_3^- \right] \right)_{t+1} - \left(N\left[NH_4^+ \right] + N\left[NO_3^- \right] \right)_t, \quad (2.12)$$

onde:

ML – mineralização líquida

t – início do período de incubação e

t+1 – final do período de incubação

Quando o valor que se obteve foi negativo, ocorreu imobilização líquida de N para o período considerado.

Da expressão anterior facilmente se depreende, que a amonificação e a nitrificação líquidas, podem ser calculadas através das equações seguintes:

$$AL = \left(N[NH_4^+] \right)_{t+1} - \left(N[NH_4^+] \right)_t , \quad (2.13)$$

onde:

AL – amonificação líquida

t – início do período de incubação e

t+1 – final do período de incubação

$$NL = \left(N[NO_3^-] \right)_{t+1} - \left(N[NO_3^-] \right)_t , \quad (2.14)$$

onde:

NL – nitrificação líquida

t – início do período de incubação e

t+1 – final do período de incubação

Nesta metodologia assume-se que não ocorre absorção nem lixiviação de N, uma vez que a incubação decorre em condições de isolamento face aos processos que conduziriam a esses dois fenómenos.

Calcularam-se as médias, e os respectivos erros e desvios padrões, para cada um dos períodos de incubação. A taxa diária de cada um dos processos em estudo foi obtida pela razão entre o somatório dos diferentes períodos de incubação, e o total de dias em que decorreram os processos. Os valores foram expressos em mg kg⁻¹ de solo para a variação do teor em N ao longo do tempo, e em kg ha⁻¹, no caso dos restantes processos.

Testou-se a existência de diferenças significativas entre os valores médios dos diferentes processos, para cada data e profundidade de amostragem, entre a situação sob e

fora da acção da copa das árvores, mais uma vez por intermédio de testes *U* de *Mann-Whitney* (Sokal & Rohlf, 1995), dado não ter sido possível normalizar e homogeneizar as variâncias das amostras. As diferenças foram consideradas significativas para $p \leq 0.05$ (Sokal & Rohlf, 1995).

2.4.5 Efeito da copa de *Quercus rotundifolia* na produtividade e composição química da vegetação herbácea do sob coberto, em resultado das alterações da radiação e da disponibilidade em água e nutrientes

A biomassa aérea das herbáceas colhidas a partir de quadrados de amostragem de 0,25 m², foi extrapolada para a área de um metro quadrado. A área foliar determinada nessas amostras foi igualmente extrapolada para 1 m².

A partir do peso seco da biomassa aérea, da biomassa das folhas e da área destas, calcularam-se os seguintes índices:

LAI – razão entre a área unifacial das folhas verdes e a área de solo ocupada;

LWR – razão entre o peso seco foliar e a biomassa aérea;

Calcularam-se os valores médios, respectivos erros e desvios padrão da biomassa aérea e seus índices, para os diferentes tratamentos e cada um dos anos de estudo. Verificou-se a existência de diferenças significativas entre os valores médios dos parâmetros, através de testes não paramétricos de *Kruskal-Wallis* (Sokal & Rohlf, 1995), dado não ter sido possível normalizar e homogeneizar as variâncias das amostras, seguidos de testes de comparação múltipla específicos (Sprent, 1993). As diferenças foram consideradas significativas para $p \leq 0.05$ (Sokal & Rohlf, 1995).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Fluxo de nutrientes

Os fluxos de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , $\text{N}[\text{NH}_4^+]$, $\text{N}[\text{NO}_3^-]$, $\text{P}[\text{PO}_4^{3-}]$, Cl^- e $\text{S}[\text{SO}_4^{2-}]$, num montado de *Q. rotundifolia*, inerentes à precipitação bruta (PB), ao gotejo (GO) e ao escorramento ao longo do tronco (ET) foram estudados na região de Évora (C. E. E. M., Universidade de Évora), entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000. Deste modo quantificou-se a deposição atmosférica húmida, no caso da PB, e a deposição atmosférica global, pela conjugação da PB com o GO e o ET, determinando-se igualmente a concentração das referidas espécies iónicas, bem como o valor de pH, na solução do solo, de Dezembro de 1997 a Dezembro de 2000.

Nesta secção apresentam-se e discutem-se os resultados respeitantes às características químicas das diferentes precipitações, à variação das características da precipitação com a distância ao tronco das árvores, às quantidades de nutrientes incorporados no solo em função dessa variação, bem como nos diferentes fluxos de deposição anuais.

3.1.1 Caracterização química da precipitação bruta, do gotejo e do escorramento ao longo do tronco

Os parâmetros estatísticos mais importantes relativos aos valores de pH e às concentrações iónicas da precipitação bruta (PB), do gotejo (GO) e do escorramento ao longo do tronco (ET) estão indicadas no Quadro 3.1.1.

Da análise dos parâmetros apresentados evidencia-se que os valores das médias aritméticas foram sempre superiores aos valores das médias ponderadas pelos volumes de precipitação, tal como já tinha sido observado nas mesmas medições por Bispo (2002) em estudos de índole semelhante. Esta diferença resulta do facto do valor da média aritmética ser sobreestimado através do maior peso que os valores de concentração mais elevados, normalmente associados a diminutos volumes de precipitação, têm no cálculo deste parâmetro. Os valores do coeficiente de variação, por seu turno foram quase sempre muito superiores à unidade, o que indica, como foi observado por Nielsen & Wendroth (2003) não ser a média aritmética, o parâmetro estatístico mais indicado para a caracterização das diferentes amostras. Face a estas particularidades, utilizou-se a média ponderada pelo volume

de precipitação, para a avaliação das características químicas da precipitação bruta, do gotejo e do escorrimento ao longo do tronco. Esta opção tem sido largamente utilizada em estudos de caracterização química da precipitação ou de fluxos de nutrientes associados à precipitação, sendo vastos os exemplos de autores que recorrem a este parâmetro para expressarem a composição química deste tipo de soluções (Stevens *et al.*, 1989; Stottlemyer & Hanson, 1989; Rodà *et al.*, 2002; Rodrigo *et al.*, 2003).

Quadro 3.1.1 Estatística descritiva sumária relativa aos valores de pH e às concentrações ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , N mineral (NH_4^+ e NO_3^-), PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} na precipitação bruta, no gotejo e no escorrimento ao longo do tronco, obtidos entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000

	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+	NO_3^-	PO_4^{3-}	Cl^-	SO_4^{2-}
Precipitação bruta										
\bar{x}	6,28	51,5	29,8	74,5	28,9	48,8	42,2	4,4	106,2	67,0
\tilde{x}	6,29	27,2	17,3	56,1	10,2	20,0	24,9	1,2	84,2	49,1
$S_{\bar{x}}$	0,09	7,64	5,8	7,3	6,2	8,9	7,2	1,0	12,3	8,6
S	0,73	63,0	48,1	59,8	51,1	73,7	59,6	8,3	101,5	70,8
V	0,12	1,2	1,6	0,8	1,8	1,5	1,4	1,9	1,0	1,1
Min	4,79	0,0	2,5	4,8	0,8	0,0	1,6	0,0	2,0	0,0
Max	8,06	288,9	361,1	378,4	343,0	301,3	443,7	42,3	779,9	504,2
\bar{x}_w	25,5	22,6	57,8	14,8	22,2	21,6	1,7	77,5	35,6	
S_w	10,1	9,8	22,9	9,0	18,2	12,3	4,0	18,8	6,7	
Gotejo										
\bar{x}	6,27	223,1	122,0	180,2	239,7	86,4	87,3	15,0	322,6	160,7
\tilde{x}	6,25	138,5	77,7	137,0	116,6	21,9	32,4	4,5	221,8	106,6
$S_{\bar{x}}$	0,02	9,1	4,5	4,9	14,4	7,1	5,6	1,2	10,9	11,3
S	0,58	248,6	123,5	134,1	393,6	194,4	153,5	32,7	297,6	308,0
V	0,09	1,1	1,0	0,7	1,6	2,3	1,8	2,2	0,9	1,9
Min	4,24	0,0	6,6	11,7	3,8	0,0	0,0	0,0	24,4	0,0
Max	7,90	2483,0	925,7	989,6	3241,6	2130,7	1269,8	345,0	2656,1	5570,5
\bar{x}_w	146,5	74,7	141,3	129,7	31,2	34,7	5,8	216,3	89,6	
S_w	14,9	7,7	17,1	20,2	18,9	11,2	6,5	35,4	9,5	
Escorrimento ao longo do tronco										
\bar{x}	7,48	1859,1	463,0	319,4	836,7	168,1	116,2	19,2	770,1	478,3
\tilde{x}	7,53	1527,0	396,7	253,2	725,4	67,9	27,7	1,9	536,8	322,9
$S_{\bar{x}}$	0,08	180,8	39,6	30,1	71,5	44,2	25,0	9,2	97,5	70,5
S	0,63	1457,7	319,4	243,0	576,0	356,3	201,3	74,8	785,8	568,6
V	0,08	0,8	0,7	0,8	0,7	2,1	1,7	3,9	1,0	1,2
Min	5,35	400,7	107,8	74,4	116,6	0,0	1,6	0,0	46,2	25,0
Max	8,90	8203,6	1529,7	1555,0	4220,2	2034,9	1100,9	573,7	5019,8	2836,2
\bar{x}_w	1496,9	362,4	238,4	576,3	25,6	33,0	1,4	336,1	133,9	
S_w	1496,9	362,4	238,4	576,3	25,6	33,0	1,4	336,1	133,9	

\bar{x} – média aritmética; \tilde{x} – mediana; $S_{\bar{x}}$ - erro padrão; S – desvio padrão; V – coeficiente de variação; Min - mínimo; Max – máximo, \bar{x}_w – média ponderada pela quantidade de precipitação, S_w – desvio padrão ponderado pela quantidade de precipitação

3.1.1.1 pH

O pH apresentou um valor mínimo de 4,24, medido no gotejo, e um valor máximo de 8,90, medido no escorrimeto ao longo do tronco. O facto dos valores do desvio padrão serem inferiores a 0,75 para as três soluções em estudo, bem como dos valores do coeficiente de variação serem muito baixos (12% na PB, 9% no GO e 8% no ET), indica-nos que os valores de pH foram bastante homogéneos ao longo do período do estudo.

Os valores médios do pH não apresentaram diferenças significativas entre as três soluções estudadas (Quadro 3.1.2), sendo mesmo da mesma ordem de grandeza para a precipitação bruta (6,27) e para o gotejo (6,28); no entanto o valor correspondente ao escorrimeto ao longo do tronco (7,48) apresentou um acréscimo de 1,20 unidades.

Dado os valores médios de pH da precipitação bruta serem superiores a 6, leva-nos a considerar que no local de estudo não se verificam características acidificantes da mesma. De acordo com Seinfeld (1986), os valores de pH por nós observados estão dentro da gama de valores que ocorrem em locais isentos de emissões poluentes com origem antrópica.

Quadro 3.1.2 Valores médios de pH e das concentrações médias ponderadas ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , N mineral (NH_4^+ e NO_3^-), PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} na precipitação bruta (PB), no gotejo (GO) e no escorrimeto ao longo do tronco (ET), obtidos entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000

	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+	NO_3^-	PO_4^{3-}	Cl^-	SO_4^{2-}
PB	6,27	25,5 _a	22,6 _a	57,8 _a	14,8 _a	22,2 _a	21,6 _a	1,7 _a	77,5 _a	35,6 _a
GO	6,28	146,5 _b	74,7 _b	141,3 _b	129,7 _b	31,2 _a	34,7 _a	5,8 _b	216,3 _b	89,6 _b
ET	7,48	1496,9 _c	362,4 _c	238,4 _c	576,3 _c	25,6 _b	33,0 _a	1,4 _a	336,1 _c	133,9 _c

Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo Teste *H* de Kruskal-Wallis.

A copa da *Q. rotundifolia* também não manifestou qualquer acção acidificante, pois, tal como já havia sido observado, no nosso país, para o *E. globulus* (Cortez, 1996; Bispo, 2002), o respectivo gotejo apresentou valores de pH semelhantes aos determinados na precipitação bruta. Assim, o valor determinado para o gotejo deverá também estar dependente do pH da precipitação bruta e, por isso do local de estudo.

Os valores de pH no escorrimeto ao longo do tronco foram bastante mais elevados do que os observados por Cortez (1996) para o *E. globulus*, e contrastaram ainda mais com os observados no *P. pinaster* (Cortez, 1996), cujo escorrimeto pelo tronco apresentou valores de pH substancialmente mais baixos do que a precipitação bruta e o gotejo. O acréscimo dos valores de pH do escorrimeto ao longo do tronco de *Q. rotundifolia* dever-se-á à acção da lavagem da deposição seca e da lixiviação/absorção de nutrientes durante o percurso desta solução através dos musgos e líquenes que revestem o tronco e os ramos (Lovett & Lindberg, 1984; Levia Jr., 2002).

3.1.1.2 Catiões básicos

O Na foi o catião básico com a concentração mais elevada na PB ($57,8 \mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$), o que parece indicar o peso da influência marinha na composição desta solução, se tivermos em linha de conta que mais de 80% do Na teve origem marinha (Figura 3.1.1 e Quadro 3.1.3). As concentrações de Ca e Mg foram menos de metade da observada para o Na. A concentração destes catiões na PB tem origem nas emissões oceânicas, nas poeiras do solo e nas emissões de algumas indústrias (Pio *et al.*, 1991; Bridgman, 1994). Dada a grande distância do local de estudo à linha de costa e a ausência na região de indústrias emissoras de aerossóis, serão as poeiras do solo o factor daquelas concentrações, conforme se pode comprovar pela elevada percentagem de Ca e Mg de origem não marinha, mais de 80% e 50%, respectivamente (Figura 3.1.1 e Quadro 3.1.3).

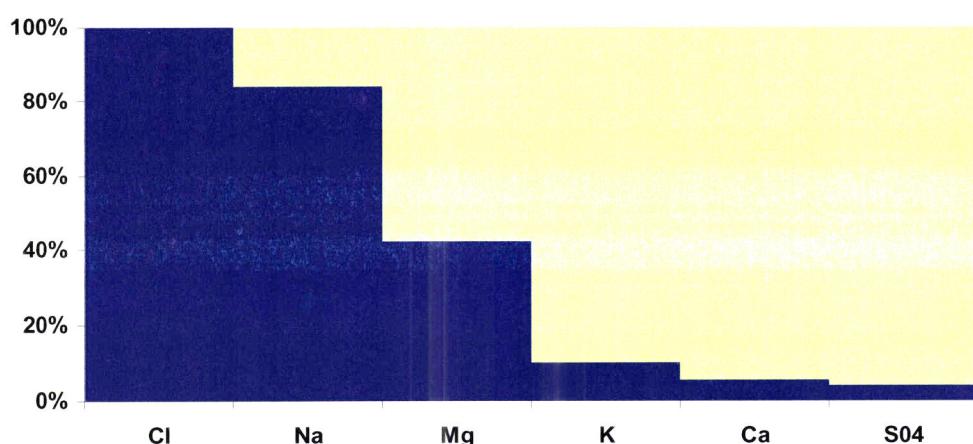


Figura 3.1.1 Valores médios (%) das devoluções marinhas [■] e não marinhas [■] de Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} e $\text{S-}\text{SO}_4^{2-}$, na precipitação bruta para o período 1997 a 2000

O K foi o catião básico com a concentração menos elevada na PB ($14,8 \mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$). Tal facto dever-se-á, mais uma vez, à inexistência na região do estudo de fontes emissoras relevantes, pois este elemento tem a sua proveniência essencialmente nas poeiras do solo bem como na utilização de fertilizantes potássicos na actividade agrícola (Bridgman, 1994). O recurso a este tipo de fertilização na região de estudo apenas deverá ocorrer pontualmente, pelo que o predomínio da origem não marinha do K, bem evidente na percentagem superior a 80%, terá sido devido às poeiras do solo.

A concentração de Ca no gotejo ($146,5 \mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) ultrapassou a do Na, mantendo-se a primazia destes dois catiões sobre o Mg e K, embora este último apresentasse valores de concentração muito próximos dos dois primeiros (Quadro 3.1.1). O efeito conjugado da

lavagem da deposição seca e da lixiviação⁹ iônica da copa das árvores, como observado por Lovett & Lindberg (1984) foi responsável pela nova proporção no gotejo dos catiões Ca, Na e K.

Quadro 3.1.3 Quantidades de origem marinha (MA) e não marinha (NMA) de alguns elementos da precipitação bruta ($\text{mmol}_c \text{ m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$) durante os anos 1997 a 2000, na Herdade da Mitra, Évora. A determinação foi realizada a partir das relações obtidas por Colin (1987) para a devolução marinha

	Origem	1997	1998	1999	2000
Cl ⁻	MA	1860,26	812,94	1022,90	1327,69
	NMA	0	0	0	0
Na ⁺	MA	44,91	21,48	26,70	24,04
	NMA	8,51	18,76	0,34	0,00
Mg ²⁺	MA	5,57	2,96	4,62	4,52
	NMA	27,03	7,84	2,08	3,57
K ⁺	MA	1,12	0,59	0,92	1,03
	NMA	7,83	11,06	5,46	11,15
Ca ²⁺	MA	1,12	0,57	1,11	0,79
	NMA	22,74	14,30	13,76	12,48
SO ₄ ²⁻	MA	1,12	0,59	0,91	1,05
	NMA	27,16	16,68	22,89	19,68
NO ₃ ⁻	MA	0	0	0	0
	NMA	17,66	13,79	17,78	7,54
NH ₄ ⁺	MA	0	0	0	0
	NMA	21,58	21,15	15,39	19,34

O Ca e o K, assim como o Mg, assumem ainda maior relevância na solução do escorrimento ao longo do tronco, apresentando concentrações muito mais elevadas do que o Na. Este facto, para além dos processos já referidos para o gotejo, parece evidenciar o efeito de captação da deposição seca exercido pela superfície rugosa da casca dos ramos e do tronco da árvore, bem como pela presença de musgos e líquenes, como foi observado por Levia Jr. (2000).

As concentrações de todos os catiões básicos apresentaram acréscimos significativos da PB para o GO e para o ET, bem como do segundo para o último (Quadro 3.1.2). Estes acréscimos estão bem patentes nas elevadas médias das razões

⁹ Arrastamento de constituintes internos das folhas em consequência da sua lavagem por ação da precipitação bruta.

determinadas entre as concentrações desses catiões no gotejo e no escorrimento ao longo do tronco e as determinadas na precipitação bruta (Quadro 3.1.4); por exemplo, no caso do Ca e do K a razão ET/PB foi maior do que 100. Ao considerarmos apenas a razão entre as médias das concentrações na PB, no GO e no ET, obtiveram-se para a razão GO/PB no que toca ao Ca, Mg, Na e K os seguintes valores: 4,33, 4,00, 2,42 e 8,29; no tocante à razão ET/PB os valores foram: 36,12, 15,54, 4,29 e 28,95. Estes valores, embora substancialmente menores do que os determinados através da média das razões, são sempre superiores a 2 vezes e ilustram de forma evidente os acréscimos de concentração na precipitação que atravessa a copa da árvore (gotejo), bem como da acção conjunta deste efeito com o da “lavagem” dos ramos e tronco para o escorrimento ao longo do tronco.

Considerando que a precipitação sob a copa corresponde em média a 78% da precipitação acima desta (David, 2000), os valores obtidos, quer através das médias das razões, quer da razão das médias das concentrações, são de tal modo expressivos, que os acréscimos de concentração destes iões no gotejo e no escorrimento ao longo do tronco relativamente à precipitação bruta foram seguramente superiores, àqueles que naturalmente ocorrerão devido à redução do volume de precipitação causada pelos 28% de perdas por intercepção pela copa da árvore.

Quadro 3.1.4 Média das razões entre as concentrações dos iões Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} observadas no gotejo (GO) e na precipitação bruta (PB), e as observadas no escorrimento ao longo do tronco (ET) e na precipitação bruta (PB), entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000

Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+	NO_3^-	PO_4^{3-}	Cl^-	SO_4^{2-}
GO/PB								
16,19	6,01	2,90	23,29	3,29	5,85	4,83	4,50	2,92
<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
***	***	***	***	***	***	***	***	***
ET/PB								
129,42	31,00	6,32	139,65	10,71	3,76	21,15	11,62	8,25
<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
***	***	***	***	***	***	***	***	***

*** valor significativamente superior a 1 para $p<0,01$

3.1.1.3 Amónio e nitrato

As concentrações de NH_4^+ e NO_3^- na precipitação bruta foram da mesma ordem de grandeza ($22,2$ e $21,6 \mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente). Estes valores foram, para ambos os iões, semelhantes aos determinados por Cortez (1996) na área de Pegões, a cerca de 50 km em linha recta do local do presente estudo. As concentrações de NH_4^+ e NO_3^- foram, respectivamente, 1,5 vezes inferiores e 1,4 vezes superiores, às observadas por Cortez

(1996) num estudo realizado mais próximo de Lisboa (Companhia das Lezírias) do que o de Pegões, mas mais distante do nosso local estudo.

As concentrações daqueles iões azotados no gotejo também foram semelhantes ($31,2$ e $34,7 \mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$), pelo que podemos considerar que o efeito da travessia da copa, quer considerando a lavagem da deposição seca, quer os processos associados à lixiviação, sobre a diferenciação da concentração do NO_3^- e do NH_4^+ é negligenciável. Isto é, qualquer destes iões, ao atravessar a copa da *Q. rotundifolia* apresentou o mesmo comportamento. Tal similitude nos valores destes iões no gotejo corrobora as observações de Rodrigo *et al.* (2003) em *Q. ilex*, espécie afim da *Q. rotundifolia*, na Catalunha.

Os valores médios das concentrações de NH_4^+ e NO_3^- no gotejo desviaram-se mais dos observados por Rodrigo *et al.* (2003), para a *Q. ilex*, em locais sujeitos à acção poluidora de meio urbano ($56,5$ e $49,4 \mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$ respectivamente), do que nos não sujeitos a essa acção ($27,5$ e $25,0 \mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$ respectivamente). Seria no entanto de esperar um menor desvio dos valores observados no presente local de estudo relativamente aos dos locais não sujeitos à acção poluidora de meio urbano. As razões para esta expectativa são, em primeiro lugar o local do presente estudo não se encontrar sob influência de grandes fontes de poluição urbana, em segundo lugar a similitude das concentrações de NH_4^+ e NO_3^- na PB dos dois locais, e por último a semelhança entre *Q. ilex* e *Q. rotundifolia* consideradas por vezes como a mesma espécie. O desvio verificado poderá ser atribuído à muito menor densidade do arvoredo do local deste estudo, comparativamente aos do local não sujeitos à acção poluidora (45 e 2127 árvores ha^{-1} , respectivamente), a qual permite que as árvores apresentem uma estrutura do coberto muito mais aberto, da qual resultarão diferenças na captação da deposição seca, associadas a diferentes taxas de absorção deste iões pelas folhas das árvores.

O acréscimo de concentração de NH_4^+ no GO de *Q. rotundifolia* relativamente à concentração na PB foi menos de metade do observado por Bispo (2002), mas o quádruplo do obtido por Cortez (1996) para o mesmo eucaliptal da área de Pegões, com um intervalo de três anos entre os dois estudos. Esse acréscimo foi, no entanto, cerca de metade do determinado para um pinhal da Companhia das Lezírias por Cortez (1996). As diferenças no enriquecimento da concentração de NH_4^+ no gotejo, entre o presente estudo e os trabalhos de Cortez (1996) e Bispo (2002) parecem estar relacionadas com diferentes eficiências de captura da deposição seca patenteadas pelas diferentes espécies florestais, bem como com diferenças inter-anuais na deposição seca, pois o enriquecimento no eucaliptal foi superior ou inferior ao da azinheira consoante os anos em que decorreram os dois estudos naquele povoamento.

O acréscimo da concentração de NO_3^- no GO relativamente à concentração na PB foi superior ao observado por Cortez (1996) e Bispo (2002) no eucaliptal em Pegões, mas foi

inferior ao verificado no pinhal, na Companhia das Lezírias (Cortez, 1996). Este menor enriquecimento relativamente ao verificado no pinhal, poderá ser devido a uma deposição seca de NO_3^- inferior no local do ensaio (Herdade da Mitra), bem como uma menor eficiência na sua captura pela *Q. rotundifolia*. Também poderá ter ocorrido uma maior proporção de absorção de NO_3^- pelas folhas da *Q. rotundifolia*, relativamente a *Pinus pinaster*, de forma que o saldo entre o NO_3^- entrado através da precipitação bruta juntamente com a deposição seca e o NO_3^- absorvido pela parte aérea da árvore tenha resultado num menor enriquecimento do GO.

Tanto o NH_4^+ como o NO_3^- apresentaram acréscimos de concentração da PB para o GO e para o ET (Quadro 3.1.2); esse acréscimo só no caso do NH_4^+ foi estatisticamente significativo e apenas em relação ao escorrido ao longo do tronco. Estes acréscimos ficam mais uma vez patentes nas médias das razões entre concentrações, sempre maiores que a unidade (Quadro 3.1.4), e que no caso do ião NH_4^+ e para a média das razões GO/PB foi um pouco superior à dezena vezes.

No entanto, ao considerar-se apenas a razão entre as médias das concentrações na PB, no GO e no ET, obtiveram-se para a razão GO/PB no que toca ao NH_4^+ e NO_3^- os seguintes valores: 1,40 e 1,61; no tocante à razão ET/PB esses valores foram: 1,15 e 1,53. Estes valores, embora substancialmente menores do que os determinados através da média das razões, foram superiores à unidade na razão GO/PB, e ilustram de forma evidente os acréscimos de concentração ocorridos no gotejo após a travessia da copa da *Q. rotundifolia*. Os valores calculados para a razão ET/PB, embora também sejam superiores à unidade, indicam porém, uma menor taxa de enriquecimento do ET face à precipitação bruta, quando comparada com a ocorrida no gotejo. Este facto poderá indicar que o balanço entre o que é introduzido na precipitação através da lavagem da deposição seca e da lixiviação, e o que lhe é retirado através da absorção, quer pelas folhas e ramos da árvore, quer pelos líquenes e musgos, foi menos favorável ao enriquecimento do escorrido ao longo do tronco.

As concentrações de NH_4^+ no escorrido ao longo do tronco foram menores ($25,6 \mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) do que as de NO_3^- ($33,0 \mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$). Inversamente, Rodrigo *et al.* (2003) obtiveram no escorrido ao longo do tronco de *Q. ilex* concentrações de NO_3^- inferiores às de NH_4^+ . Podemos portanto assumir que a concentração relativa destes dois iões no escorrido ao longo do tronco, reflectiu as condições específicas dos processos de deposição seca e lixiviação/absorção para as circunstâncias do presente estudo.

3.1.1.4 Aniões – fosfato, cloreto e sulfato

O Cl⁻ foi o anião que apresentou a concentração média ponderada mais elevada na PB ($77,5 \mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$), dobrando mesmo a do SO₄²⁻ ($35,6 \mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$), enquanto que o PO₄³⁻ foi aquele que apresentou a concentração mais baixa ($1,7 \mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de todos os iões considerados. As concentrações de Cl⁻ foram inferiores às observadas por Cortez (1996) e por Bispo (2002) na área de Pegões (respectivamente 95 e $106 \mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) e por Cortez (1996) na Companhia das Lezírias ($87 \mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$), facto este que pode atribuir-se à maior distância à linha de costa do nosso local de estudo, 70 contra 30 km em linha recta da costa atlântica, os quais se reduzem a metade na distância ao estuário do rio Sado. Não obstante, a importância do Cl⁻ relativamente aos dois outros aníons, sugere, ainda, a influência da acção marinha na composição aniónica da PB, apesar da maior distância percorrida pelas suas emissões, pois a composição química da precipitação, em geral, pode ser influenciada pelo aerossol marinho até a uma distância de 100 km (Parker, 1993).

As concentrações do SO₄²⁻, ao contrário do Cl⁻ foram ligeiramente superiores às observadas por Cortez (1996) e Bispo (2002) na região de Pegões (entre 25 - $30 \mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$), o que poderia sugerir um maior risco de acidificação no local de estudo. Este risco, porém, não será plausível dado que os valores observados foram muito inferiores aos referidos por Rodrigo *et al.* (2003) tanto para locais sujeitos à acção poluidora de meio urbano ($48,2 \mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) como para locais ao abrigo dessa acção ($38,9 \mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$).

O reduzido valor da concentração ponderada de PO₄³⁻ para a PB encontra-se próximo quer dos registados por Cortez (1996), com $1,02 \mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$, quer por Rodrigo *et al.* (2003), com $1,03$ e $1,25 \mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$ (respectivamente em local abrigado e não abrigado da poluição), pelo que podemos considerar estarmos em presença de valores usuais, considerando as condições do local de estudo.

A diferença de concentração dos aníons (Cl⁻, SO₄²⁻ e PO₄³⁻) no gotejo foi semelhante à observada para a precipitação bruta. O Cl⁻ atingiu quase $2,5$ vezes a concentração do SO₄²⁻, e 33 vezes a do PO₄³⁻. Esta tendência é idêntica à observada por Cortez (1996), quer num eucaliptal da área de Pegões, quer num pinhal da Companhia das Lezírias (212 , 59 e $0,8 \mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$), embora com concentrações muito inferiores de qualquer dos iões no gotejo de qualquer das espécies. Diferentemente, Rodrigo *et al.* (2003) observaram no gotejo de *Q. ilex*, em local ao abrigo da poluição urbano-industrial, que o anião dominante foi o SO₄²⁻ e com valores de concentração ligeiramente superiores aos observados no gotejo *Q. rotundifolia* ($93,7 \mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$). Este facto vem confirmar a já mencionada fraca plausibilidade do risco de acidificação do local por acção do sulfato, quer via precipitação, quer ainda,

neste caso, pela lavagem da deposição seca capturada pela árvore. As concentrações de Cl⁻ no gotejo, obtidas por este autor para as duas localizações estudadas (50,0 e 72,5 µmol_c L⁻¹), foram inferiores às verificadas neste trabalho, embora numa situação de maior proximidade da linha de costa, enquanto o anião fosfato apresentou concentrações bastante semelhantes (6,05 e 5,10 µmol_c L⁻¹).

As concentrações de Cl⁻ e SO₄²⁻ apresentaram acréscimos significativos da PB para o GO e para o ET, bem como do segundo para este último; a concentração do ião fosfato, embora tenha subido da PB para o GO, apresentou uma concentração no ET inferior à da PB, embora não estatisticamente significativa (Quadro 3.1.2). Esses acréscimos estão expressos nas elevadas médias das razões determinadas entre as concentrações desses íons no gotejo e escorrimento ao longo do tronco e as dos mesmos na precipitação bruta (Quadro 3.1.4), médias estas que chegam à casa das dezenas para a razão ET/PB. Se considerarmos apenas a razão entre as médias das concentrações na PB, no GO e no ET, obtiveram-se para a razão GO/PB no que toca ao PO₄³⁻, Cl⁻ e SO₄²⁻ os seguintes valores: 3,40, 2,79 e 2,52; no tocante à razão ET/PB esses valores foram: 0,81; 4,34 e 3,76. Estes valores, embora substancialmente menores do que os determinados através da média das razões, são sempre superiores a 2 vezes, à excepção do ião fosfato na razão ET/PB, ilustrando mais uma vez os acréscimos de concentração ocorridos após a travessia do copado pelo gotejo, bem como a ação conjunta deste com a "lavagem" dos ramos e tronco para o escorrimento ao longo do tronco. A redução ocorrida no ET face à PB, no caso do PO₄³⁻, poderá indicar uma absorção deste anião ao nível da flora presente nos ramos e tronco.

A diferenciação nas concentrações do Cl⁻, do SO₄²⁻ e do PO₄³⁻ no escorrimento ao longo do tronco foi semelhante à observada no gotejo. O Cl⁻ atingiu 2,5 vezes a concentração do SO₄²⁻ e 245 vezes a do PO₄³⁻. A concentração de Cl⁻ e de SO₄²⁻, foi pelo menos 9 e 3 vezes, respectivamente, superior à observada no escorrimento ao longo do tronco de *Q. ilex* (Rodrigo *et al.*, 2003), enquanto a de PO₄³⁻ foi pelo menos 1,5 vezes inferior, chegando mesmo a ter um valor inferior ao observado na PB. A concentração mais elevada destes dois íons no escorrimento ao longo do tronco de *Q. rotundifolia*, poderá relacionar-se com a menor densidade arbórea no local de estudo. Essa menor densidade arbórea permite a ocorrência de árvores com conformação da copa em taça, típica do sistema "montado", resultando desta conformação uma maior superfície de tronco e ramos em contacto com a precipitação na origem do ET. Podemos, ainda, supor que, devido ao maior espaçamento entre as árvores no montado, a quantidade e as espécies de musgos e líquenes que ocorrem na superfície do tronco e ramos de *Q. rotundifolia* poderão ser significativamente diferentes das que ocorrem na *Q. ilex*, influenciando a diferença de concentração do PO₄³⁻ no ET.

3.1.1.5 Relação entre as concentrações iónicas

A concentração dos diferentes iões na precipitação bruta, no gotejo e no escorrimento ao longo do tronco dependerá da proveniência de cada um dos iões, no caso da PB, e ainda dos processos de deposição seca, lixiviação/absorção associados à espécie arbórea em estudo, para o GO e o ET. Além disso, as concentrações de alguns dos iões estudados poderão estar relacionadas entre si, quer devido à ocorrência de uma origem comum que associa quimicamente desde o início certas espécies iónicas, quer devido à existência durante o processo de deposição seca de reacções que dêem origem ao estabelecimento de ligações entre alguns iões (Bispo, 2002).

A análise de correlação entre os diferentes iões é uma técnica muito usada para determinar a origem destes. Na PB (Quadro 3.1.5) apenas se verificou a ocorrência de correlações altamente significativas, entre a concentração de Ca^{2+} e as de NO_3^- e de SO_4^{2-} ($r>0,60$, $p<0,01$), entre este último e a do NO_3^- ($r=0,87$, $p<0,01$) e entre a concentração do NH_4^+ e a do PO_4^{3-} ($r=0,79$, $p<0,01$). No primeiro caso temos a identificação do Ca como principal ião responsável pela neutralização da acidez da precipitação, conjuntamente com a possível origem comum dos dois iões muitas vezes associados a emissões de gases industriais, o sulfato e o nitrato. As relações verificadas para o Ca estão de acordo com o padrão habitualmente observado em áreas de influência mediterrânica (Rodà *et al.*, 1990; Bellot & Escarrè, 1991; Escarrè *et al.*, 1999; Moreno *et al.*, 2001; Nakos *et al.*, 2001, Rodà *et al.*, 2002), em que este ião assume o lugar do H^+ nas correlações estabelecidas com os iões NO_3^- e SO_4^{2-} , normalmente utilizadas para explicar a acidez da precipitação verificada no centro e Norte da Europa, nos E.U.A. e no Japão (Reynolds *et al.*, 1989; Lovett, 1994; Gower *et al.*, 1995; Aikawa *et al.*, 2001).

Diversos autores (Stevens, 1989; Nordén, 1991; Godoy *et al.*, 2001; Rodà *et al.*, 2002) têm atribuído à actividade pecuária a presença do NH_4^+ na precipitação bruta, enquanto que para o PO_4^{3-} , Rey (2002) refere ser este um componente muito comum de fertilizantes de uso frequente. Considerando o facto de no local de estudo se verificar a ausência de fontes de poluição urbano-industrial próximas, parece-nos que a forte correlação estabelecida entre a concentração do NH_4^+ e a do PO_4^{3-} poderá estar relacionada com uma possível origem agrícola comum destes dois iões.

Verificaram-se ainda correlações entre outros iões, embora significativamente menos fortes ($r<0,50$, $p<0,01$). É disso exemplo a correlação entre o Mg^{2+} e o Na^+ , devida possivelmente à origem comum (aerossóis marinhos) desses catiões; no entanto, ao contrário do observado em trabalhos realizados a menor distância da costa (Bispo, 2002; Rey, 2002), em que o Na^+ , o Mg^{2+} , e o Cl^- apresentavam correlações muito fortes ($r>0,80$,

$p<0,01$), a constatação da inexistência de qualquer correlação entre esses catiões e o Cl^- , e dado o baixo valor de correlação existente entre eles ($r=0,36$, $p<0,01$), podemos considerar que a influência marinha na zona é menos intensa.

Quadro 3.1.5 Coeficientes de correlação linear entre as concentrações iónicas na precipitação bruta (PB) recolhida entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000

	H^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+	NO_3^-	PO_4^{3-}	Cl^-	SO_4^{2-}
H^+	1,00									
Ca^{2+}	-0,21	1,00								
Mg^{2+}	0,06	0,15	1,00							
Na^+	-0,11	0,36**	0,30**	1,00						
K^+	-0,17	0,15	0,10	0,15	1,00					
NH_4^+	-0,21	0,44**	0,02	0,10	0,29*	1,00				
NO_3^-	-0,04	0,61**	0,10	0,17	0,20	0,33**	1,00			
PO_4^{3-}	-0,17	0,46**	0,07	0,14	0,41**	0,79**	0,30*	1,00		
Cl^-	-0,16	0,21	0,09	0,22	0,24*	0,05	0,14	0,13	1,00	
SO_4^{2-}	-0,08	0,71**	0,17	0,28*	0,39**	0,29*	0,87**	0,32**	0,25*	1,00

** Correlações significativas a $p<0,01$, indicando-se a bold as correlações $\geq 0,60$; * Correlações significativas a $p<0,05$

A sistematização das relações iónicas anteriores é bastante facilitada pela observação do dendograma resultante da análise de Cluster realizada para os iões da PB (Figura 3.1.2). Neste, é observável a separação dos diferentes iões em três grupos principais, em que os dois primeiros respeitam aos iões com as correlações mais fortes ($r>50$, $p<0,01$), e o terceiro, aqueles com correlações menos fortes ($r<50$, $p<0,01$).

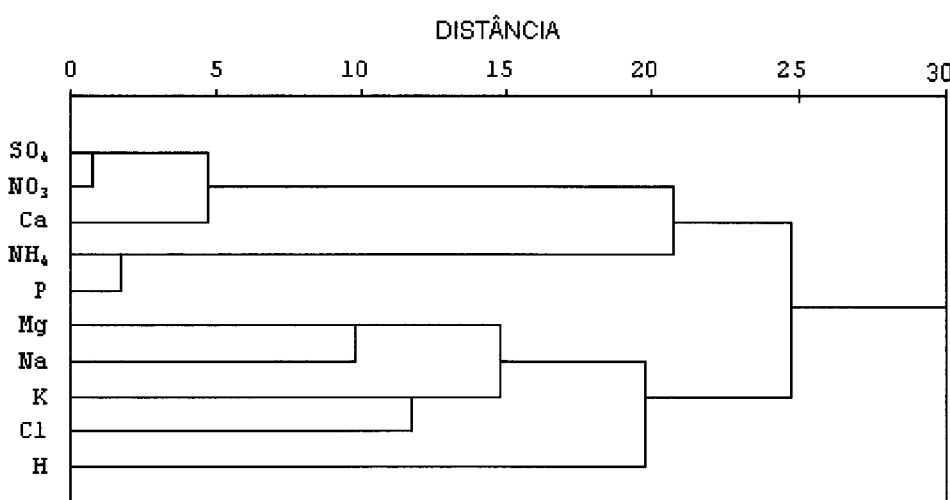


Figura 3.1.2 Dendrograma da análise de Cluster realizada pelo método de Ward entre os coeficientes de correlação dos principais iões da precipitação bruta (PB), para o período 1997 a 2000

No primeiro grupo é visível a relação do SO_4^{2-} com o NO_3^- , e destes com o Ca^{2+} ilustrando o processo já referido de neutralização da acidez da precipitação.

A relação verificada entre o NH_4^+ e o PO_4^{3-} é ilustrada no segundo grupo, o qual se encontra ainda ligado ao anterior embora de forma ténue, dada a distância de separação entre estes dois grupos ser muito superior (> 20).

O terceiro grupo encontra-se claramente separado dos dois anteriores, sendo formado pelos restantes cinco iões. Destes o H^+ é o único ião que não aparenta estar ligado com mais nenhum dos outros, demonstrado claramente a referida substituição do H^+ pelo Ca^{2+} na neutralização da acidez da precipitação, habitualmente observada nas condições mediterrânicas.

Neste último grupo é ainda visível a relação existente entre o Mg^{2+} e o Na^+ , embora mais fraca do que as observadas entre os componentes dos primeiros dois grupos (distância de separação ≈ 10), bem como a ténue ligação ao Cl^- (distância de separação ≈ 15). As relações estabelecidas por estes iões, normalmente associados a uma origem marinha comum, não foram tão evidentes como as observadas por Rey (2002), em trabalho realizado numa área mais próxima da linha de costa (aproximadamente 30 km em linha recta), no qual os iões Mg^{2+} , Na^+ e Cl^- se apresentaram fortemente ligados (distância de separação $\approx 2,5$), formando um grupo individualizado. Este facto parece mais uma vez confirmar, tal como supramencionado sobre as correlações, o menor contributo dos aerossóis marinhos para a composição química da precipitação bruta no local do presente estudo.

Para uma interpretação quantitativa das diferentes origens associadas aos iões da PB temos os resultados da análise factorial apresentados no Quadro 3.1.6. Nestes resultados foi possível identificar quatro componentes principais, que em conjunto, explicam 71,9 % da variabilidade química da precipitação bruta, e em parte reforçam as interpretações estabelecidas por intermédio da análise de *cluster*.

O factor mais importante, que explica 35,3% da variância, é definido pela presença dos iões Ca^{2+} , NO_3^- e SO_4^{2-} e reflecte na composição da PB o resultado das relações entre aerossóis de Ca e os óxidos de S e N atmosféricos de origem antrópica (Bispo, 2002). A constante associação destes três iões nas três análises estatística efectuadas, parece indicar a existência de processos de neutralização dos dois últimos iões pelo Ca^{2+} , pelo que poderemos designar este primeiro factor, por factor de neutralização.

O segundo factor, que explica apenas 14,2 % da variância, é formado pelos iões NH_4^+ e PO_4^{3-} , e dada a hipótese formulada anteriormente para a origem destes iões, poderíamos relacionar este factor com a actividade agrícola.

Quadro 3.1.6 Resultados da Análise de Componentes Principais (extracção com rotação de varimax) às concentrações iónicas na precipitação bruta (PB) recolhida entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000

	Factor			
	1	2	3	4
H ⁺	0,002	-0,215	0,174	-0,712
Ca ²⁺	0,748	0,320	0,162	0,154
Mg ²⁺	0,003	0,006	0,859	-0,130
Na ⁺	0,199	0,004	0,679	0,282
K ⁺	0,126	0,442	0,175	0,411
NH ₄ ⁺	0,214	0,898	-0,003	0,002
PO ₄ ³⁻	0,198	0,906	0,007	0,009
NO ₃ ⁻	0,933	0,132	0,001	-0,001
Cl ⁻	0,175	-0,009	0,225	0,720
SO ₄ ²⁻	0,926	0,143	0,148	0,146
eigen value	3,53	1,42	1,21	1,03
% variância explicada	35,33	14,18	12,09	10,28

Os dois últimos factores, que no seu conjunto explicam 22,3 % da variância, são caracterizados pela presença dos iões Mg²⁺, Na⁺ no primeiro e do Cl⁻ no segundo. Dado a origem destes iões ser primordialmente os aerossóis marinhos, pode-se identificar os dois últimos factores com o efeito marinho na constituição química da PB. O facto destes iões não aparecerem a formar um único factor a explicar a maior percentagem de variância, como foi observado por Bispo (2002) e Rey (2002), reforça a sugestão de que o factor marinho tem nas condições do presente estudo menor relevância face às outras origens antrópicas dos iões na precipitação bruta.

A análise de correlação entre as concentrações iónicas no gotejo (Quadro 3.1.7.), evidenciou a existência de correlação ($r \geq 0,60$; $p < 0,01$) entre os iões com concentração mais elevada (Cl⁻, Ca²⁺, Na⁺ e Mg²⁺). Esta correlação poderá indicar o forte impacto do processo da deposição seca no enriquecimento do gotejo, uma vez que costuma ser esta a principal fonte deste iões no GO, embora com origens diversificadas (Bellot *et al.*, 1999).

O SO₄²⁻, correlacionou-se de forma evidente ($r \geq 0,60$; $p < 0,01$) com o Ca²⁺, o Mg²⁺ e o K⁺, tal como estes dois últimos entre si ($r = 0,78$; $p < 0,01$). O estabelecimento de relações fortes entre iões cuja fonte principal é a deposição seca (SO₄²⁻) e iões cuja fonte principal é a lixiviação (K⁺), foi também referido por Draaijers *et al.* (1997) e por Whelehan *et al.* (1998), que a atribuem ao facto de, quer a lixiviação, quer a deposição seca serem influenciadas pela densidade de biomassa foliar por unidade de superfície. A forte relação entre o Mg e o

K, poderá indicar que além deste, também o primeiro poderá ter a sua origem em elevada percentagem na lixiviação, tal como mencionado por Bellot *et al.* (1999).

A hipótese dos iões NH_4^+ e PO_4^{3-} se encontrarem relacionados com os processos de lixiviação/absorção (Bellot *et al.* 1999), exclusivamente relacionados com a árvore, poderá explicar o facto de correlação mais forte ($r=0,96$; $p<0,01$) ter sido a que ocorreu entre estes iões.

O H^+ apenas apresentou correlações com o Ca^{2+} , o Mg^{2+} e o Cl^- , mas pouco evidentes ($r \leq 0,35$) o que está de acordo com estudos realizados na Península Ibérica, com *P. pinaster* (Rey, 2002)

Quadro 3.1.7 Coeficientes de correlação linear entre as concentrações iónicas no gotejo (GO) recolhido entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000

	H^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+	NO_3^-	PO_4^{3-}	Cl^-	SO_4^{2-}
H^+	1,00									
Ca^{2+}	0,35**	1,00								
Mg^{2+}	0,29**	0,89**	1,00							
Na^+	0,17	0,70**	0,71**	1,00						
K^+	0,16	0,52**	0,78**	0,28*	1,00					
NH_4^+	-0,11	0,20	0,33**	0,20	0,33**	1,00				
NO_3^-	0,02	0,52**	0,29*	0,29*	0,18	0,36**	1,00			
PO_4^{3-}	-0,07	0,30**	0,46**	0,29*	0,44**	0,96**	0,43**	1,00		
Cl^-	0,34**	0,67**	0,75**	0,59**	0,49**	0,30*	0,59**	0,38**	1,00	
SO_4^{2-}	0,13	0,62**	0,74**	0,36**	0,74**	0,44**	0,31*	0,52**	0,47**	1,00

** Correlações significativas a $p<0,01$, indicando-se a bold as correlações $\geq 0,60$; * Correlações significativas a $p<0,05$

Para o ET a análise de correlação entre as concentrações iónicas (Quadro 3.1.8.), salientou a ocorrência de relações ($r \geq 0,60$; $p<0,01$) entre as concentrações de SO_4^{2-} e as de Mg^{2+} , de K^+ e de NO_3^- . Estas relações poderão igualmente, dever-se ao facto, de tal como para o GO, os processos de lixiviação e deposição seca estarem dependentes da densidade de biomassa foliar por unidade de superfície (Draaijers *et al.*, 1997; Whelean *et al.*, 1998), bem como da morfologia da casca dos ramos e troncos e respectiva cobertura com musgos e líquenes (Levia Jr. & Frost, 2003).

O PO_4^{3-} , o K^+ e o NH_4^+ correlacionaram-se de forma evidente entre si ($r \geq 0,67$; $p<0,01$), provavelmente pelas mesmas razões referidas para o GO.

A correlação mais forte ($r=0,84$; $p<0,01$) ocorreu entre o Mg^{2+} e o Na^+ , a qual poderá em parte ser justificada por uma origem marinha comum, quanto à deposição seca destes iões (Bispo, 2002; Rey, 2002).

Quadro 3.1.8 Coeficientes de correlação linear entre as concentrações iónicas no escorrimento ao longo do tronco (ELT) recolhido entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000

	H ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
H⁺	1,00									
Ca²⁺	-0,14	1,00								
Mg²⁺	-0,14	0,59**	1,00							
Na⁺	-0,11	0,53**	0,84**	1,00						
K⁺	-0,17	0,24	0,54**	0,46**	1,00					
NH₄⁺	-0,08	0,01	0,32**	0,24	0,67**	1,00				
NO₃⁻	0,26*	0,26**	0,42**	0,54**	0,33**	0,32**	1,00			
PO₄³⁻	-0,04	0,01	0,27*	0,31*	0,81**	0,76**	0,29*	1,00		
Cl⁻	0,59**	0,59**	0,46**	0,41**	0,40**	0,25**	0,50**	0,24	1,00	
SO₄²⁻	0,22	0,22	0,60**	0,57**	0,64**	0,57**	0,64**	0,50**	0,58**	1,00

** Correlações significativas a p<0,01, indicando-se a bold as correlações ≥ 0,60; * Correlações significativas a p<0,05

No dendograma resultante da análise de Cluster efectuada para os iões do GO (Figura 3.1.3) verificou-se a separação dos diferentes iões em três grupos principais. O primeiro grupo inclui o NH₄⁺ e o PO₄³⁻, os dois iões que apresentaram o valor de correlação mais elevado (Quadro 3.1.7), identificando possivelmente a relação destes iões com os processos de lixiviação/absorção (Bellot *et al.*, 1999), exclusivamente relacionados com a árvore.

Claramente separado deste grupo observou-se um conjunto heterogéneo de iões, dentro do qual apenas o H⁺ não aparentou estar ligado a mais nenhuma dos iões estudados. Foi ainda possível verificar a existência de dois grupos, um primeiro formado pelo K⁺ e pelo SO₄²⁻, e um segundo pelos iões Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, Na⁺ e NO₃⁻. No primeiro caso estar-se-á perante o enriquecimento do gotejo através da conjugação da lixiviação, do K⁺ e da lavagem da deposição seca características, respectivamente, destes dois iões (Bellot *et al.*, 1999). O segundo identificará iões cujo enriquecimento do gotejo se deveu em grande percentagem à lavagem da deposição seca (Bellot *et al.*, 1999), quer de eventual origem marinha (Mg²⁺, Na⁺ e Cl⁻), quer de origem continental (Ca²⁺ e NO₃⁻).

O dendrograma dos iões estudados no escorrimento ao longo do tronco (Figura 3.1.4) mostra que estes se dividiram em dois conjuntos heterogéneos, verificando-se novamente a inexistência de qualquer ligação mais forte, entre o ião hidrogénio e qualquer um destes iões.

No primeiro destes conjuntos identifica-se claramente um grupo formado pelos iões Mg²⁺ e Na⁺ fortemente ligados entre si (distância de ligação <1), e outro constituído pelos iões Ca²⁺, Cl⁻ e NO₃⁻, menos fortemente ligados entre si do que os dois primeiros. Este

conjunto identificará o processo da lavagem da deposição seca, normalmente associado ao enriquecimento da concentração destes iões.

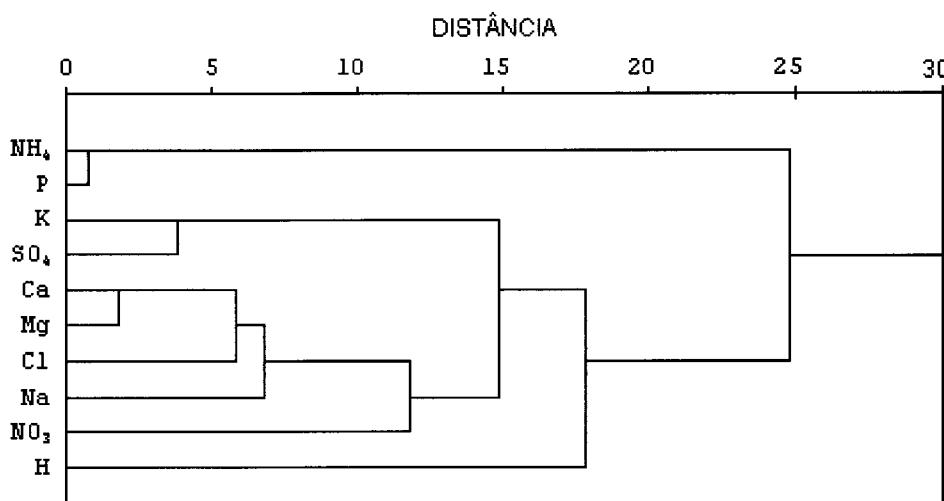


Figura 3.1.3 Dendrograma da análise de Cluster realizada pelo método de Ward entre os coeficientes de correlação dos principais iões do gotejo (GO), para o período 1997 a 2000

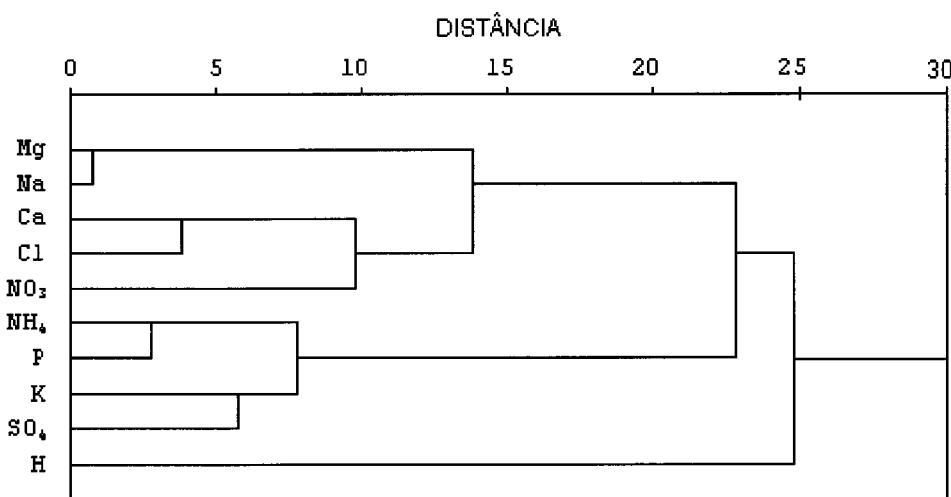


Figura 3.1.4 Dendrograma da análise de Cluster realizada pelo método de Ward entre os coeficientes de correlação dos principais iões do escorrimento ao longo do tronco (ELT), para o período 1997 a 2000

Dentro do segundo conjunto distinguem-se por sua vez dois grupos evidentes, um formado pelo NH₄⁺ e pelo PO₄³⁻, e o outro pelos iões K⁺ e SO₄²⁻, os quais terão resultado das mesmas razões referidas para o gotejo.

Diferentemente do verificado para a PB, a análise factorial no GO, apenas identificou três factores principais (Quadro 3.1.9) que, em conjunto, explicam 78,3 % da variabilidade

química desta solução, e mais uma vez reforçam em parte, as interpretações efectuadas por intermédio da análise de *cluster*.

O primeiro factor caracterizou-se pela presença dos iões com origem essencialmente continental (Ca^{2+} , Mg^{2+} e NO_3^-) com os de origem marinha (Na^+ e Cl^-), cujo enriquecimento no gotejo resultará da lavagem da deposição seca, identificando este factor o processo em questão.

Analisando o segundo factor verificou-se a presença do SO_4^{2-} , cujo enriquecimento do gotejo está normalmente associado à deposição seca, do K^+ , cujo enriquecimento se encontra normalmente associado à lixiviação, e do Mg^{2+} , cuja concentração nesta solução pode ter origem nas duas vias. Este factor representará portanto a influência destes dois processos.

Quadro 3.1.9 Resultados da Análise de Componentes Principais (extracção com rotação de varimax) às concentrações iónicas no gotejo (GO) recolhido entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000

	Factor		
	1	2	3
H^+	0,319	0,310	-0,489
Ca^{2+}	0,793	0,477	-0,005
Mg^{2+}	0,685	0,690	0,007
Na^+	0,748	0,235	-0,001
K^+	0,175	0,897	0,143
NH_4^+	0,150	0,275	0,889
NO_3^-	0,751	-0,109	0,411
PO_4^{3-}	0,239	0,356	0,856
Cl^-	0,805	0,326	0,009
SO_4^{2-}	0,277	0,805	0,266
eigen value	5,06	1,73	1,04
% variância explicada	50,57	17,32	10,38

O terceiro factor definiu-se através da ocorrência dos iões NH_4^+ e PO_4^{3-} , os quais, na análise de *cluster* apresentavam a ligação mais forte, pelo que poder-se-á associar este factor com os processos de lixiviação/absorção referidos anteriormente.

A análise factorial realizada entre as concentrações dos mesmos iões no ET, identificou novamente três factores principais (Quadro 3.1.10) que, em conjunto, explicam 68,2 % da variabilidade química desta solução, percentagem esta, menor do que as obtidas para as análises factoriais da PB e do GO. Os resultados obtidos nesta análise, vêm

novamente dar suporte, pelo menos parcialmente, às interpretações efectuadas por intermédio da análise de *cluster* e das correlações.

O primeiro factor, que explica 41,3% da variância, é constituído pelos iões K⁺, NH₄⁺, PO₄³⁻ e SO₄²⁻, expressando portanto os processos de lixiviação/absorção associados à maioria destes iões, uma vez que apenas o SO₄²⁻ não se relaciona com esse processo, mas sim com o da lavagem da deposição seca.

Quadro 3.1.10 Resultados da Análise de Componentes Principais (extracção com rotação de varimax) às concentrações iónicas no escorrimento ao longo do tronco (ELT) recolhido entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000

	Componente		
	1	2	3
H ⁺	-0,003	-0,110	-0,270
Ca ²⁺	-0,124	0,743	0,503
Mg ²⁺	0,367	0,839	0,186
Na ⁺	0,176	0,903	0,009
K ⁺	0,621	0,379	0,233
NH ₄ ⁺	0,896	0,111	0,114
NO ₃ ⁻	0,188	0,004	0,752
PO ₄ ³⁻	0,835	0,005	0,002
Cl ⁻	0,115	0,204	0,823
SO ₄ ²⁻	0,658	0,126	0,543
eigen value	4,13	1,60	1,10
% variância explicada	41,28	15,96	10,99

Os dois últimos factores são formados pelos iões que originaram o primeiro conjunto da análise de *cluster* do ET, e tal como nesta, os iões separaram-se em dois grupos. O primeiro factor constituído pelos iões Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺, e o segundo factor pelos iões Ca²⁺, NO₃⁻, Cl⁻ e SO₄²⁻. Estes iões enriquecem o escorrimento ao longo do tronco, principalmente através da lavagem da deposição seca, sendo portanto de associar estes dois factores com esse processo. A separação em dois factores poderá estar relacionada com o diferente peso da origem mais localizada ou mais distante dos diferentes iões.

3.1.1.6 Relação entre as concentrações iónicas e os volumes de precipitação

Quando os volumes de precipitação bruta, do gotejo e do escorrimento ao longo do tronco são elevados, será de esperar uma maior diluição das espécies iónicas constantes da

sua composição. Assim, as concentrações iónicas determinadas em amostras obtidas na sequência de eventos muito pluviosos, deverão ser geralmente inferiores às determinadas em amostras em correspondência com eventos que originaram um reduzido volume dessas soluções (Bispo, 2002).

De modo a verificarmos se o comportamento das concentrações dos iões estudados nas diferentes soluções seguiu este padrão, quando aumentava o respectivo volume, estabeleceram-se regressões simples entre as concentrações dos diferentes iões e as quantidades de PB, de GO e de ET.

Para a precipitação bruta (Figura 3.1.5) foi possível determinar-se uma regressão do tipo simples, entre a quantidade desta e a concentração dos diferentes iões, bem como com os valores de pH. As funções obtidas foram apenas de dois tipos, com predomínio das do tipo (1), e sendo descritas através das seguintes expressões matemáticas:

$$(1) Y = a + \frac{b}{X} \text{ e}$$

$$(2) Y = a \times X^b$$

Apenas para o ião sulfato, a regressão estabelecida entre a quantidade de PB e a concentração iônica, apresentou um R^2 ajustado que explicasse mais de 50% da variabilidade da concentração ($R^2 = 0,63$). Dos restantes iões, as regressões do NO_3^- e do Ca^{2+} apresentaram um valor de R^2 ajustado na ordem dos 40%, enquanto nas restantes regressões determinadas, este valor variou dentro do intervalo situado entre os 10% e os 30%; embora com predomínio dos valores próximos do limite inferior do intervalo. Admite-se portanto, que para a grande maioria dos iões estudados, bem como para o pH, as variações dos valores por estes apresentados, não são atribuíveis à variação da quantidade de precipitação. No entanto o comportamento das concentrações em função da quantidade de PB parece estar de acordo com a forma de hipérbole negativa referida por Wolaver & Lieth¹⁰ (1972) para a relação que se estabelece entre a concentração de elemento e a quantidade de precipitação.

Salienta-se que os iões cujas regressões apresentaram um valor de R^2 mais elevado (SO_4^{2-} , NO_3^- e Ca^{2+}) foram também aqueles cujas relações tinham sido evidenciadas na correlação de Pearson e na análise de *cluster*, e constituíam o factor mais importante (35,3% da variância explicada) da análise de componentes principais.

¹⁰ Citado por Rodrigo et al.(2003)

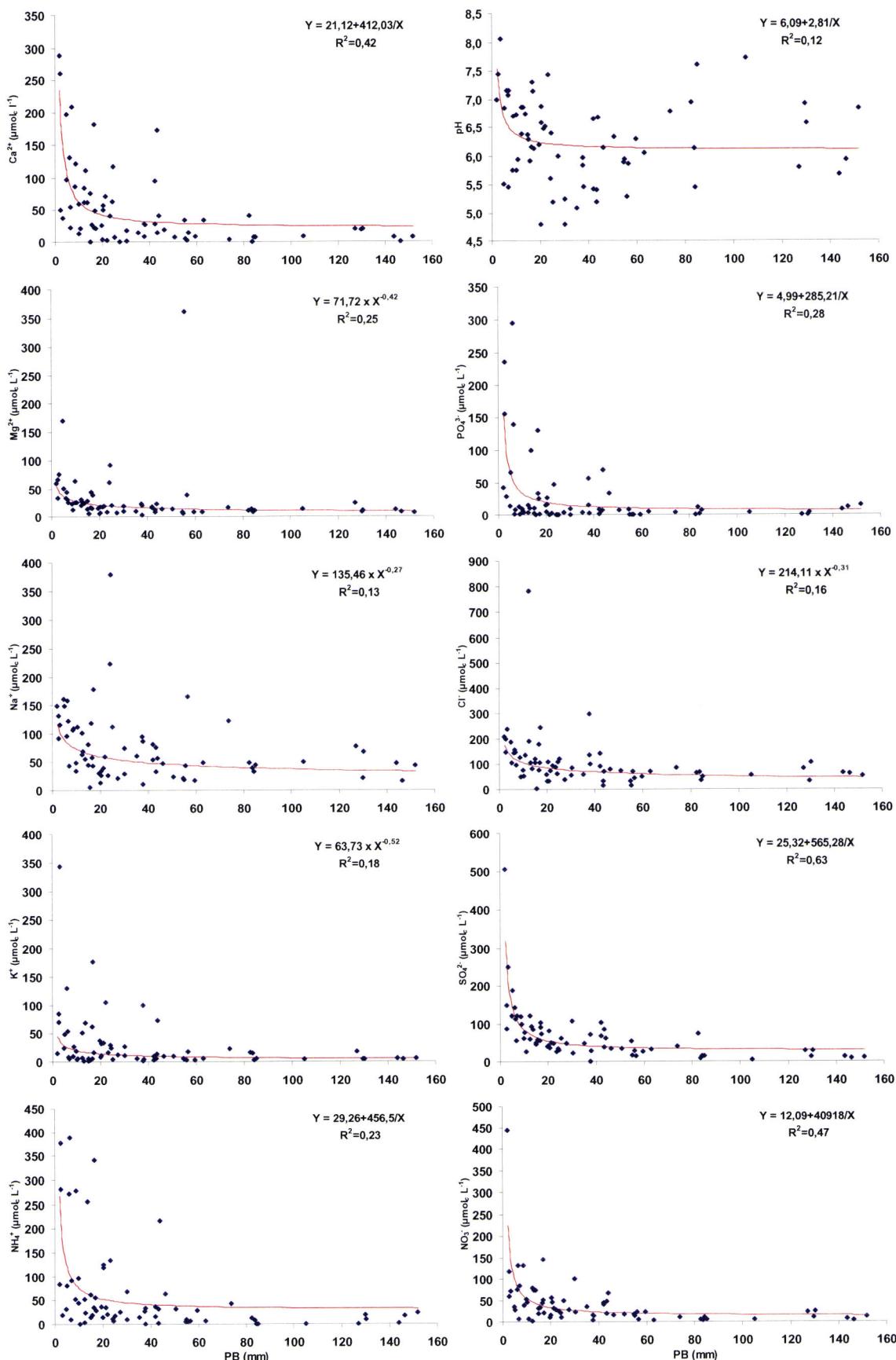


Figura 3.1.5 Relação entre as quantidades de precipitação bruta (PB) e os valores de pH e as concentrações ($\mu\text{mol L}^{-1}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} determinados entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000

Não foi possível estabelecer qualquer regressão simples entre a quantidade de GO e os valores de pH, bem como com os da concentração de NO_3^- (Figura 3.1.6). Para os restantes iões obtiveram-se funções de três tipos, com predomínio absoluto das do tipo (1) dado que cada um dos outros dois, apenas foi aplicado numa única situação. As funções obtidas podem ser descritas através das seguintes expressões matemáticas:

$$(1) Y = a \times X^b,$$

$$(2) Y = a + \frac{b}{X} \text{ e}$$

$$(3) Y = \frac{1}{(a + b \times X)}$$

Tal como para a PB, apenas para o ião sulfato foi possível estabelecer uma regressão entre a quantidade de GO e a concentração iônica, em que se obtivesse um R^2 ajustado que explicasse mais de 50% da variabilidade da concentração, embora bastante menor do que o obtido naquela ($R^2 = 0,52$). Para as restantes regressões realizadas o valor de R^2 ajustado obtido foi sempre inferior a 40%. Neste caso, verificou-se, no entanto, que os iões Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ e Cl^- apresentaram um aumento da variabilidade explicada pela relação estabelecida, entre 1,4 e 2 vezes, comparativamente ao verificado para a PB. Contrariamente, as regressões obtidas para os iões Ca^{2+} e PO_4^{3-} apresentaram um valor de R^2 ajustado menor do que o obtido para a quantidade de PB, em cerca de 40%.

Os acréscimos verificados nos valores do R^2 ajustado nos iões em questão poderão estar relacionados com a interacção entre a precipitação e os processo de lavagem/lixiviação, grandemente responsáveis pela composição química do gotejo.

Considerando uma vez mais, os baixos valores de R^2 ajustado obtidos (<50%) para a maioria dos iões, bem como o facto de não ter sido possível estabelecer qualquer regressão do tipo pretendido, entre a quantidade de GO e os valores do pH, e da concentração em NO_3^- , parece sugerir a existência de outros factores, quer associados à própria árvore, quer externos a ela, com maior relevância na explicação da variabilidade dos valores de pH e da concentração iônica nesta solução.

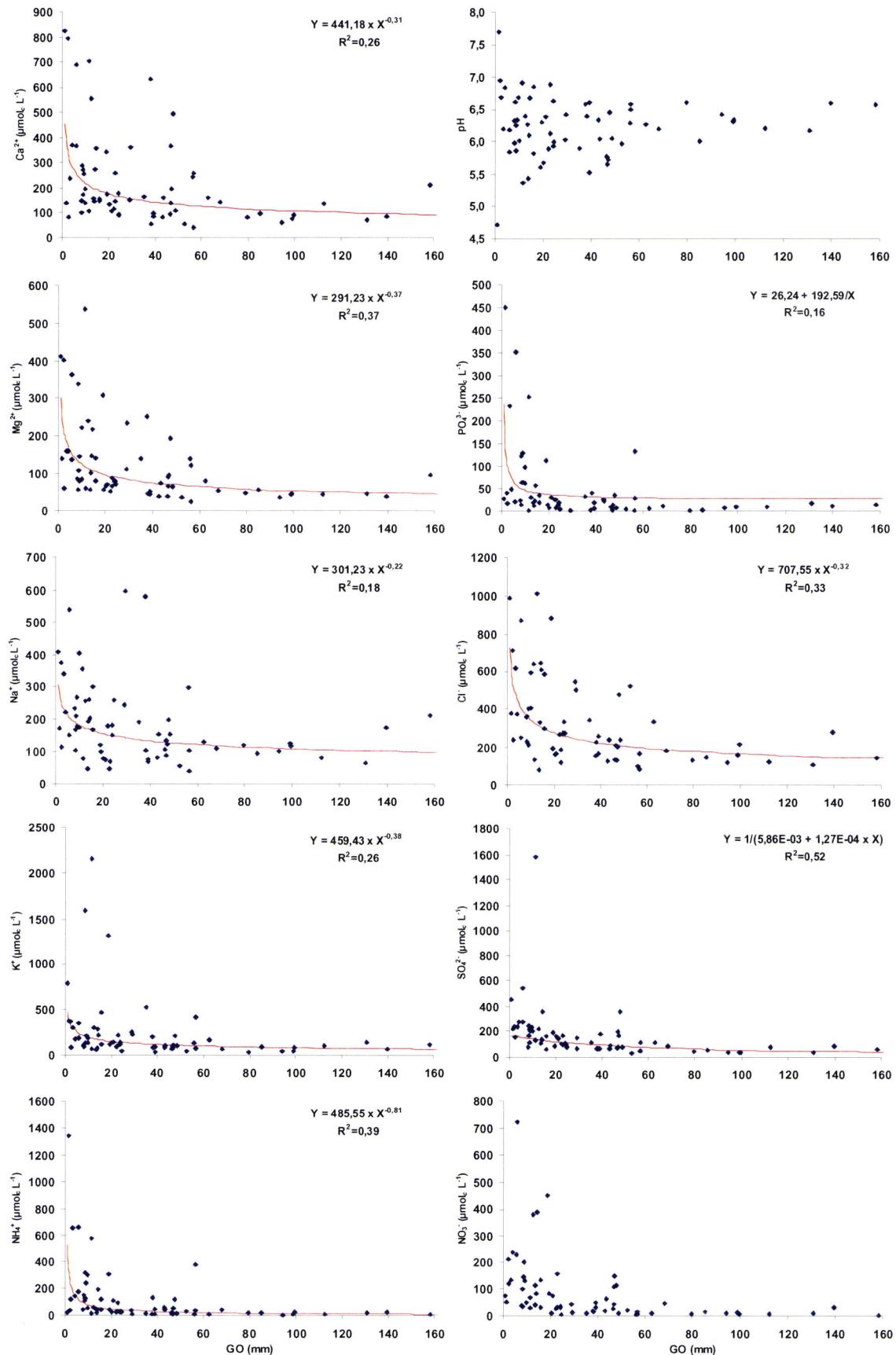


Figura 3.1.6 Relação entre as quantidades de gotejo (GO) e os valores de pH e das concentrações ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} determinados entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000

Para o escorrimento ao longo do tronco (Figura 3.1.7) também não foi possível estabelecer qualquer regressão simples entre a respectiva quantidade e os valores do pH, bem como com os das concentrações de NO_3^- e Ca^{2+} . Para os restantes iões obtiveram-se funções de três tipos, sendo o número de relações estabelecidas, praticamente igual para cada um deles. As funções obtidas podem ser descritas através das seguintes expressões matemáticas:

$$(1) Y = \frac{1}{(a + b \times X)},$$

$$(2) Y = a + \frac{b}{X} \text{ e}$$

$$(3) Y = a \times e^{(bxX)}$$

No escorrimento ao longo do tronco foi novamente o ião sulfato o único a apresentar um valor de R^2 ajustado que explicasse aproximadamente 50% da variabilidade da concentração ($R^2 = 0,49$) pela regressão entre a quantidade de ET e a concentração iônica; valor este, todavia, inferior ao determinado na PB e no GO.

Para as restantes regressões estabelecidas o valor de R^2 ajustado obtido foi mais uma vez inferior a 40%. Neste caso, verificou-se no entanto, que os iões PO_4^{3-} , Na^+ e Cl^- apresentaram um aumento da variabilidade explicada pela relação estabelecida, entre 1,2 e 2 vezes, comparativamente ao verificado para a PB, embora relativamente ao GO, fosse o fosfato a apresentar o maior aumento (2,1 vezes). Contrariamente, as regressões obtidas para os iões Mg^{2+} e K^+ apresentaram um valor de R^2 ajustado menor do que o obtido para a quantidade de PB, em cerca de 20-40%, e ainda menor relativamente ao GO (40-70%).

Para o ião NH_4^+ verificou-se um acréscimo no valor do R^2 ajustado face ao obtido na PB e um decréscimo comparativamente ao verificado para o gotejo.

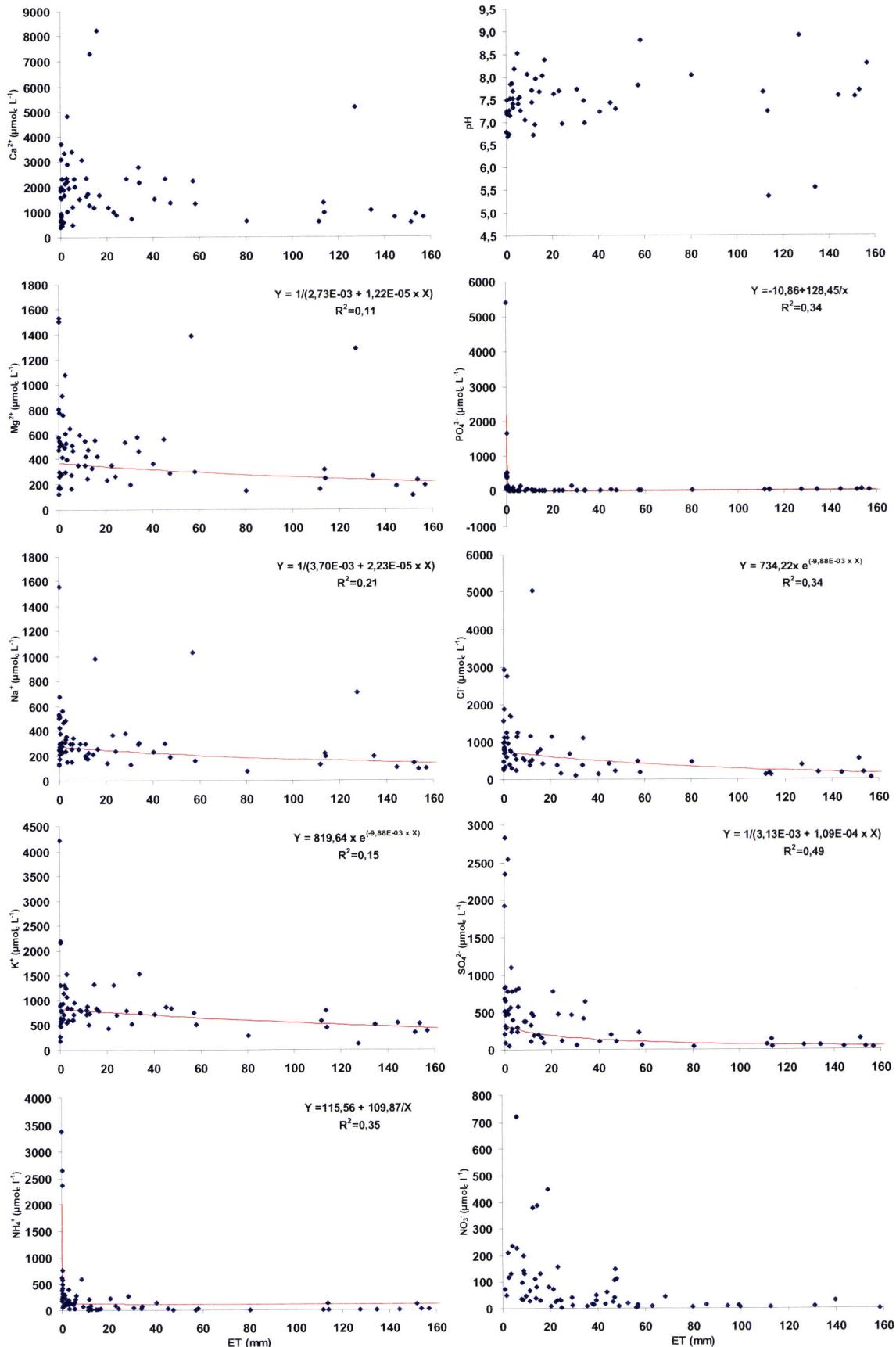


Figura 3.1.7 Relação entre as quantidades de escorramento ao longo dos troncos (ET) e os valores de pH e das concentrações ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} determinados entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000

3.1.1.7 Variação das concentrações iónicas com a distância ao tronco

Os valores de pH atingiram o nível mais elevado junto à base do tronco (7,48), isto é, em coincidência com o escorrimento ao longo do tronco, e decresceram significativamente até ao limite da projecção vertical da copa, voltando a aumentar para a precipitação colhida fora projecção vertical desta (Quadro 3.1.11).

Quadro 3.1.11 Valores médios de pH e das concentrações médias ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , N mineral (NH_4^+ e NO_3^-), PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} nas soluções obtidas por escorrimento do tronco (0 m), sob a copa da árvore (2,1 e 5,8 m), no limite da projecção da copa da árvore (7,5 m), fora do limite da projecção da copa da árvore (9,7 e 14,7 m) e acima da copa da árvore (PB) entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000.

Distância ao tronco	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+	NO_3^-	PO_4^{3-}	Cl^-	SO_4^{2-}
0 m	7,48a	1496,9a	362,4a	238,4a	576,3a	25,6a	33,0a	1,4ab	336,1a	133,9a
2,1 m	6,33b	258,7b	99,1b	148,4b	193,1b	28,6abc	38,9a	7,1d	217,5b	105,2b
5,8 m	6,21bc	100,8c	71,0c	146,3b	110,4c	38,2bc	33,3a	6,3cd	234,7b	84,4b
7,5 m	6,06c	83,0d	52,6d	127,0b	85,2d	25,0bc	31,8a	3,6bc	190,8b	79,1c
9,7 m	6,26bc	38,6e	20,4e	75,1c	30,9e	32,5bc	17,3b	4,6a	92,9c	43,3d
14,7 m	6,30b	32,2e	20,3e	72,8c	25,0e	37,6ab	16,3b	4,7a	89,1c	59,2d
Pb	6,28b	25,5e	22,6e	57,8c	14,8f	22,2c	21,5ab	1,7ab	77,5c	35,6d

Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo Teste H de Kruskal-Wallis

As concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ determinadas nas precipitações colhidas sob a copa da árvore foram significativamente superiores às observadas naquelas colhidas nas áreas fora da influência da copa (Quadro 3.1.11). Essas concentrações decresceram significativamente do tronco até ao limite da projecção vertical da copa, à excepção do Na^+ , cuja concentração apenas decresceu significativamente do tronco para as distâncias localizadas para além do limite dessa projecção. As concentrações de Ca^{2+} , Na^+ e K^+ na precipitação fora dessa projecção, mas ao nível do solo, foram superiores àquelas determinadas acima da copa da árvore, mas apenas significativamente no caso do K^+ , sugerindo o prolongamento do efeito da copa bastante para além da respectiva projecção vertical.

A concentração de NH_4^+ nas precipitações colhidas sob a copa da árvore foi em geral inferior à determinada naquelas colhidas nas áreas fora da projecção vertical da mesma, mas superior à determinada na precipitação colhida acima da copa; todavia, apenas se verificou uma diferenciação significativa entre esta última, e a correspondente ao ET (Quadro 3.1.11). A concentração de NH_4^+ na precipitação colhida acima da copa foi inferior à determinada nas precipitações colhidas ao nível da superfície do solo e fora da projecção vertical da copa da árvore, sendo a diferença apenas significativa em relação à distância mais afastada do tronco.

As concentrações de NO_3^- no ET e no GO foram semelhantes e significativamente superiores às determinadas na precipitação fora da influência da copa da árvore, mas não diferiram significativamente da observada na precipitação colhida acima da copa da azinheira (Quadro 3.1.11). A concentração de NO_3^- no ET não diferiu significativamente da determinada, sob a copa da árvore, a diferentes distâncias do tronco da mesma.

As concentrações de Cl^- e SO_4^{2-} nas precipitações colhidas no sob coberto, tal como observado para o Ca, Mg, K e Na, foram significativamente superiores às determinadas naquelas colhidas nas áreas fora do coberto da árvore (Quadro 3.1.11). As concentrações de Cl^- e SO_4^{2-} decresceram significativamente da base do tronco para as restantes distâncias de colheita, verificando-se para o segundo uma diferenciação significativa entre a concentração determinada no limite da projecção vertical da copa e a determinada no gotejo das restantes distâncias de amostragem.

O mínimo de concentração de PO_4^{3-} observou-se no ET ($1,40 \mu\text{mol}_c \text{L}^{-1}$), possivelmente em resultado de processos de absorção que tenham ocorrido na superfície do tronco; essa concentração foi significativamente inferior à observada no GO colhido a diferentes distâncias do tronco, excepto aquele colhido no limite da projecção vertical da copa. A concentração deste ião decresceu da proximidade do tronco para o limite da projecção vertical da copa (Quadro 3.1.11). A concentração de PO_4^{3-} nas precipitações colhidas ao nível da superfície do solo e fora da projecção vertical da copa da árvore, foi superior à determinada na precipitação recolhida acima da copa daquela.

3.1.2 Fluxos de nutrientes nas soluções de precipitação

A quantidade da maioria de nutrientes que entrou anualmente no sistema através da precipitação bruta (Quadro 3.1.12) atingiu os valores mais elevados no ano em que se observou a precipitação mais elevada (1997). No ano em que a precipitação foi mais baixa (1998), a quantidade de Ca, Mg, Na, K, P, N [NH_4^+], N [NO_3^-], introduzida no sistema foi

maior ou igual à quantidade introduzida nos anos de 1999 e/ou 2000, com valores de precipitação superiores.

Quadro 3.1.12 Quantidade de nutrientes transportados pela precipitação bruta (PB) e respectivos volumes anuais registados durante 1997 a 2000

Ano	PB mm	Ca	Mg	Na	K	P	N [NH_4^+]	N [NO_3^-]	Cl	S [SO_4^{2-}]
1997	970	4,98	4,12	12,78	3,64	0,89	3,15	2,58	20,60	4,72
1998	423	3,10	1,37	9,63	4,74	0,70	3,08	2,01	10,94	3,38
1999	533	3,10	0,85	6,47	2,60	0,47	2,24	2,59	20,93	3,97
2000	691	2,77	1,02	5,75	4,96	1,01	2,82	1,10	19,28	3,46
Média	3,49	1,84		8,66	3,98	0,77	2,82	2,07	17,94	3,88

No local de estudo, os nutrientes com maiores fluxos anuais foram o Cl e o Na, seguidos do K, S- SO_4^{2-} e Ca, com valores muito próximos ($3,49$ a $3,98 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). O P foi aquele que apresentou o menor fluxo ($0,77 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Os fluxos de N sob a forma de NH_4^+ , ou sob a forma de NO_3^- foram bastante próximos e em média inferiores a $3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

A tendência para os fluxos de nutrientes através da PB serem dominados pelo par Cl-Na, tal como o observado por Cortez (1996) e Bispo (2002) em estudos na região de Pegões, reflecte a importância que as emissões marinhas ainda assumem no local do presente estudo, apesar da maior distância da linha de costa. O facto de nas condições locais o K ser o terceiro nutriente mais importante, interpondo-se entre o par Cl-Na e o par S-Ca observados nos estudos mencionados, poderá indicar uma mais forte influência das poeiras do solo na devolução de nutrientes ao mesmo pela PB.

As reduzidas quantidades dos restantes nutrientes, principalmente de P, introduzidas no sistema através desta solução, estão em linha com o observado por Cortez (1996) e Bispo (2002), e reflectem o baixo impacto de fontes antropogénicas de nutrientes para o local de estudo, pois em áreas em que estas fontes apresentam um forte impacto, os fluxos da PB apresentam um predomínio do N (NH_4^+ e NO_3^-) e do S, conforme tem sido observado por vários autores (Feger *et al.*, 1990; Takahashi *et al.*, 2001). Além disso, comparando com estudos realizados em locais com um baixo grau de poluição antropogénica (Moreno *et al.*, 2001), os fluxos de N (NH_4^+ e NO_3^-) e de S observados em 1997 e 2000, anos que apresentavam valores de precipitação próxima de duas das localizações estudadas, foram quase sempre inferiores.

A quantidade da maioria dos nutrientes devolvida ao solo através do GO atingiu novamente os valores mais altos (Quadro 3.1.13) no ano em que a precipitação foi mais elevada (1997). Também no ano em que a precipitação apresentou o valor mais reduzido

(1998) a quantidade de mais de metade dos nutrientes devolvida ao solo através do GO, foi maior ou igual à quantidade devolvida nos anos de 1999 e 2000, com valores de precipitação superiores.

Quadro 3.1.13 Quantidade de nutrientes determinados no gotejo (GO) e respectivos volumes anuais registados durante 1997 a 2000

Ano	GO mm	Ca	Mg	Na	K	P	N [NH_4^+]	N [NO_3^-]	Cl	S [SO_4^{2-}]
1997	766	28,81	8,45	30,68	46,96	1,76	4,91	6,20	57,30	9,94
1998	334	23,38	7,73	24,23	40,54	0,88	3,90	7,05	58,25	6,84
1999	421	14,68	4,54	16,97	29,25	0,81	2,51	5,00	50,14	6,45
2000	546	17,33	5,42	17,53	36,93	1,96	5,49	3,22	51,03	4,95
Média		21,05	6,54	22,35	38,42	1,35	4,20	5,37	54,18	7,05

No GO da azinheira, os nutrientes com maiores fluxos anuais foram o Cl e o K, seguidos do Na e Ca, com valores muito próximos (22, 35 e 21,05 kg ha^{-1} ano $^{-1}$). Os fluxos de S e Mg aproximaram-se (7,05 e 6,54 kg ha^{-1} ano $^{-1}$), passando este último a ter um peso superior aos fluxos de N, relativamente ao que ocorria na PB. Estes, quer sob a forma de NH_4^+ , ou sob a forma de NO_3^- foram, respectivamente, de 4,2 e 5,37 kg ha^{-1} ano $^{-1}$, bastante próximos e inferiores a 5,5 kg ha^{-1} ano $^{-1}$. O menor fluxo foi novamente o do P (1,35 kg ha^{-1} ano $^{-1}$).

No presente estudo verificou-se que no gotejo da azinheira, comparativamente à Precipitação bruta, o K passou a ser o nutriente com o segundo maior fluxo, ocupando a posição do Na e o Ca trocou de posição com o S, que passou a ocupar a quinta posição. Este acréscimo de importância do fluxo do K no GO relativamente à PB, para além de se verificar para a grande parte das espécies arbóreas (Velthorst & Van Breemen, 1989; Feger *et al.*, 1990; Veneklaas, 1990; Gauquelin *et al.*, 1992; Muoghalu & Oakhumen, 2000; Moreno *et al.*, 2001), assumirá uma maior relevância na *Q. rotundifolia*, como é evidenciado pelo facto de ser o fluxo de K o mais importante no GO de *Q. ilex* (Bellot *et al.*, 1999), espécie esta considerada muito próxima da espécie estudada (Gonzalez, 1995).

As quantidades de nutrientes transportados pelo escorrimento ao logo do tronco foram muito baixas em comparação com as transportadas pela precipitação bruta, apresentando, na maioria dos casos, valores inferiores a 1 kg ha^{-1} ano $^{-1}$. No entanto, ao considerar-se que esta solução apenas terá influência sobre uma coroa circular à volta do tronco, com um reduzido raio, em vez de toda a área correspondente à área de projecção da copa da árvore (Voight, 1960), verificamos que a quantidade de nutrientes devolvidos ao solo pelo ET assume grande importância por unidade de área (Quadro 3.1.14). Este facto

terá relevância na diferenciação da disponibilidade de nutrientes, principalmente nas áreas próximas do tronco, como está expresso pelas elevadas quantidades de Ca e K.

Quadro 3.1.14 Quantidade de nutrientes transportados pelo escorrimento ao longo do tronco (ELT) e respectivos volumes anuais registados durante 1997 a 2000. Os fluxos e os volumes foram expressos considerando como área de influência do ELT, a área da copa da árvore e uma coroa circular à volta do tronco, com 1, 0,5 e 0,2 m de diâmetro

Ano	ELT mm	Ca	Mg	Na	K	P	N [NH ₄ ⁺]	N [NO ₃]	Cl	S-SO ₄ ²⁻
Área da copa										
1 m										
1997	5	1,83	0,27	0,30	0,96	<0,01	0,01	0,01	0,38	0,08
1998	1	0,69	0,11	0,15	0,35	<0,01	0,01	0,04	0,47	0,06
1999	2	0,25	0,04	0,07	0,33	<0,01	0,02	0,01	0,28	0,06
2000	4	0,68	0,10	0,11	0,88	<0,01	0,02	<0,01	0,28	0,06
Média		0,86	0,13	0,16	0,63	<0,01	0,01	0,01	0,35	0,06
0,5 m										
1997	75	28,18	4,10	4,62	14,86	0,03	0,23	0,13	5,83	1,17
1998	23	10,63	1,63	2,26	5,33	0,01	0,10	0,66	7,23	0,89
1999	24	3,93	0,56	1,05	5,08	0,01	0,30	0,08	4,34	0,96
2000	57	10,55	1,55	1,73	13,57	0,03	0,27	0,05	4,26	0,97
Média		13,32	1,96	2,41	9,71	0,02	0,22	0,23	5,42	1,00
0,2 m										
1997	222	83,43	12,15	13,67	44,01	0,09	0,67	0,38	17,27	3,48
1998	67	31,48	4,83	6,70	15,79	0,02	0,29	1,96	21,39	2,64
1999	71	11,63	1,66	3,10	15,04	0,03	0,90	0,24	12,86	2,85
2000	169	31,24	4,58	5,12	40,16	0,09	0,79	0,15	12,62	2,86
Média		39,45	5,81	7,15	28,75	0,06	0,66	0,68	16,03	2,96

Tal como observado na PB e no GO, no ano em que a precipitação foi mais elevada (1997), a quantidade da maioria dos nutrientes devolvida ao solo através do ET foi superior (Quadro 3.1.14). De igual modo, no ano em que a precipitação apresentou o valor mais reduzido (1998) a quantidade de mais de metade dos nutrientes devolvida ao solo através do ET, foi maior ou igual à quantidade devolvida nos anos de 1999 e 2000, com valores de precipitação superiores.

Os nutrientes com maiores fluxos anuais no ET foram o Ca e o K, seguidos do Cl e Na no entanto, ao longo dos quatro anos de estudo, embora estes nutrientes fossem aqueles que apresentaram os fluxos mais importantes, as posições relativas do Ca, K e Cl variaram de ano para ano. Esta variação poderá ter resultado quer das condições meteorológicas dos diferentes anos, quer do comportamento da deposição seca. Por outro

lado, alterações anuais na fisiologia da árvore e/ou dos musgos e líquenes que revestem o tronco e ramos podem ter contribuído igualmente para tal variação (Levia Jr. & Frost, 2003).

As posições relativas dos fluxos dos restantes nutrientes observadas no GO mantiveram-se praticamente sem alteração no ET, embora o Mg tenha passado a apresentar o fluxo mais elevado, praticamente o dobro do respeitante ao S [SO₄²⁻].

O maior relevo do Ca e K relativamente ao Cl e Na no ET da *Q. rotundifolia*, para além de características morfológicas e fisiológicas da própria espécie, poderá também resultar do menor peso da influência marinha, devido ao maior afastamento da linha de costa do local de estudo; com efeito, Cortez (1996) em estudos realizados num eucaliptal na área de Pegões, e num pinhal na Companhia das Lezírias, verificou no ET maiores fluxos de Cl e Na do que de Ca e K.

A acção da copa de *Q. rotundifolia* na variação da concentração iónica da precipitação pode ser quantificada por intermédio dos fluxos no gotejo líquido (GL), obtido através de GL=(GO+ET)-PB (Parker, 1983), fluxos estes que apresentaram um saldo positivo para todos os iões analisados (Quadro 3.1.15).

As quantidades de nutrientes devolvidas ao solo, por intermédio do GL, resultam do balanço entre três processos que ocorrem na copa da árvore e que são responsáveis pela alteração da concentração iónica da precipitação que a atravessa. Dois destes processos, a lixiviação e a deposição seca, têm como resultado um aumento da concentração iónica no GO relativamente à da PB; o terceiro, a absorção pelas folhas e líquenes, tem como resultado um fluxo líquido do gotejo negativo.

Quadro 3.1.15 Quantidade de nutrientes devida exclusivamente à passagem da PB pelas copas das árvores, ou gotejo líquido (GL), durante 1997 a 2000

Ano	Ca	Mg	Na	K	P	N [NH ₄ ⁺]	N [NO ₃]	Cl	S [SO ₄ ²⁻]
..... kg ha ⁻¹ ano ⁻¹									
1997	25,66	4,60	18,20	44,28	0,87	1,77	3,63	37,08	5,30
1998	20,97	6,47	14,75	36,15	0,18	0,83	5,08	47,78	3,52
1999	11,83	3,73	10,57	26,98	0,34	0,29	2,42	29,49	2,54
2000	15,24	4,50	11,89	32,85	0,95	2,69	2,12	32,03	1,55
Média	18,43	4,83	13,85	35,07	0,59	1,40	3,31	36,60	3,23

Os fluxos líquidos de N no gotejo, quer sob a forma de N [NO₃] quer sob a forma N [NH₄⁺], só pontualmente apresentaram um valor negativo (Figura 3.1.8). Este facto poderá ser um indicador de que o N não deverá ser um factor limitante, para as condições do local do presente estudo, uma vez que Rodà *et al.* (2002) atribuíram a ocorrência de fluxos

líquidos negativos de N em bosques de *Q. ilex* da região da Catalunha, à absorção do N pela folhagem em resultado desses sistemas ainda não terem atingido a saturação de N.

Os fluxos de N [NO_3^-] e N [NH_4^+] no GL (Figura 3.1.8) apresentaram padrões diferenciados, pois enquanto o NH_4^+ foi retido pela flora epífita ou mesmo pelas folhas, principalmente no Outono–Inverno, o NO_3^- apresentou os valores de fluxo negativos, principalmente na Primavera.

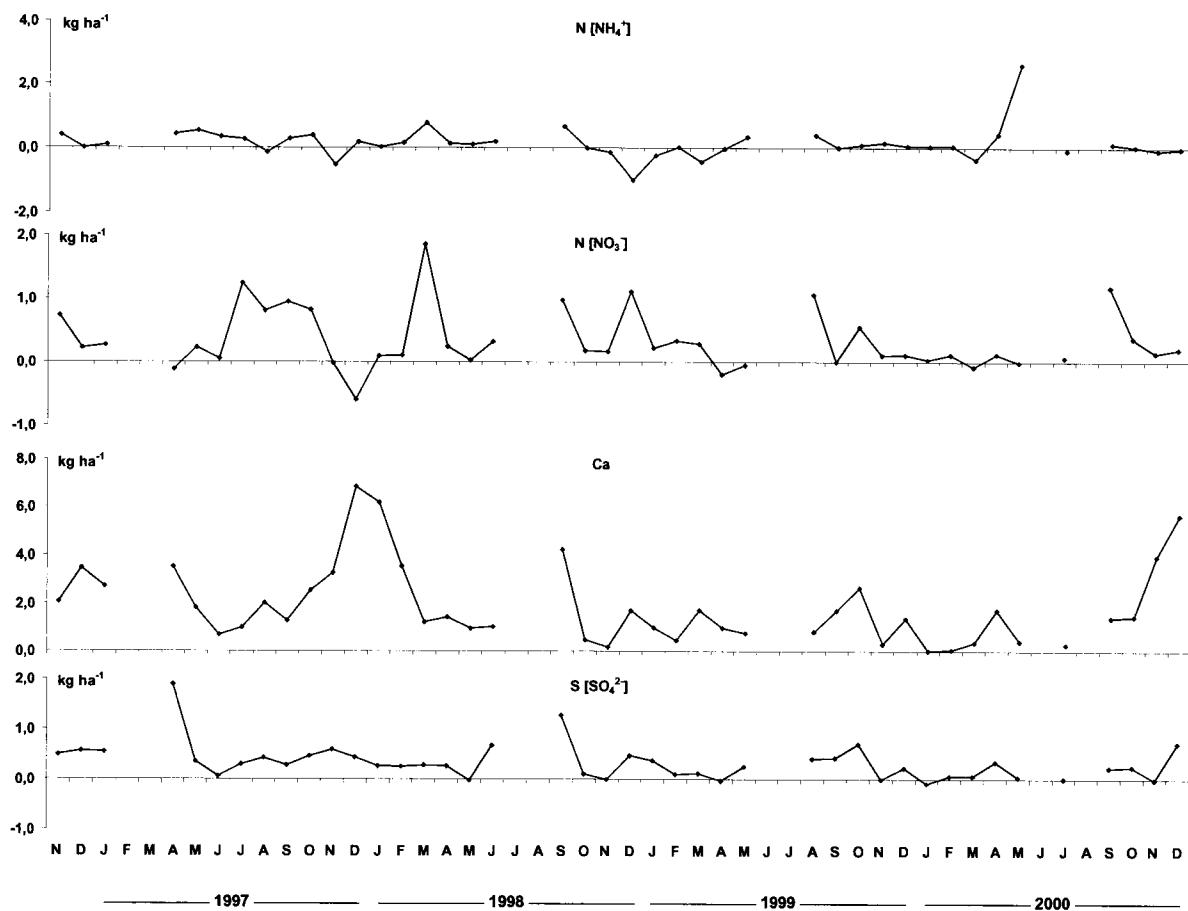


Figura 3.1.8 Fluxos mensais de N ($\text{N} [\text{NH}_4^+]$ e $\text{N} [\text{NO}_3^-]$), de Ca, e de S $[\text{SO}_4^{2-}]$ no gotejo líquido entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000

Os catiões básicos apresentaram um padrão similar, com valores sempre positivos, mas sem que os picos de maior fluxo tenham sido coincidentes com o final do período seco e início do período chuvoso, como seria de esperar, dado o predomínio atribuído à deposição seca como origem do Ca, Mg e Na do GO e ET (Bellot *et al.*, 1999).

O Padrão do fluxo líquido do sulfato foi semelhante ao dos catiões básicos, embora a sua quantidade tenha pouco significado quando comparada com a destes ou mesmo com a do cloreto, além de se terem observado pontualmente situações de absorção pela copa da árvore.

A aplicação do modelo de Ulrich (1983) para distinguir de forma independente as contribuições da deposição seca e da lixiviação nos fluxos de Ca, Mg e K (Quadro 3.1.16), indica um predomínio da primeira para os três nutrientes, à exceção do Mg no ano de 2000. As percentagens obtidas encontram-se dentro da gama de valores obtidas na *Q. ilex* na região de Barcelona por Bellot *et al.* (1999) para o Mg e o Na, enquanto que a percentagem de lixiviação obtida para o Ca foi mais do dobro da verificada por esses autores. Esta discrepância poderá resultar de características próprias da *Q. rotundifolia*, apesar da proximidade entre as duas espécies, ou de características específicas do local de estudo, dado que pela aplicação deste modelo foram obtidas percentagens de lixiviação do Ca que variaram entre 39,9 e 78%, para diferentes espécies e diferentes locais de estudo (Nordén, 1991; Van Ek & Draaijers, 1994; Fernández-Vega, 1998; Piirainen *et al.*, 2002).

Quadro 3.1.16 Estimativa da deposição seca e da lixiviação para o Ca, Mg e K expressas em percentagem do fluxo líquido anual, para os anos 1997 a 2000

	Deposição seca			Lixiviação/Absorção		
	----- % -----			----- % -----		
	Ca	Mg	K	Ca	Mg	K
1997	37,34	46,34	13,79	62,66	53,66	86,21
1998	28,06	33,73	22,40	71,94	66,27	77,60
1999	44,03	38,92	20,63	55,97	61,08	79,37
2000	31,59	52,53	27,13	68,41	47,47	72,87

3.1.2.1 Variação dos fluxos com o volume de precipitação

Conforme foi referido anteriormente, os fluxos dos diferentes nutrientes quer na precipitação bruta, quer no gotejo, quer ainda no escorrimento ao longo do tronco, variaram muito de ano para ano. Uma das razões normalmente apontada para explicar essas variações relaciona-se com a quantidade de precipitação, e mais concretamente com o comportamento desta. Uma das formas de verificar o peso da precipitação na variação dos fluxos é o de relacionar estes com o volume de precipitação.

Nas condições do presente estudo não se obtiveram regressões simples entre os fluxos de Ca, N [NH_4^+] e P e volume de precipitação bruta (Figura 3.1.9). Quanto aos nutrientes em que foi possível obter regressões válidas, estas apresentaram valores de R^2 superiores a 0,50 para o Cl e o Na, de 0,44 para o H e de 0,41 para o Mg. Quanto aos

restantes nutrientes o valor de R^2 foi $\leq 0,23$, pelo que apenas para o Cl, o Na, o H e o Mg, podemos considerar que a variação do volume da PB explicará em parte o padrão dos fluxos destes nutrientes. No entanto, os valores de R^2 para o Cl, o Na e o Mg encontram-se muito distantes dos valores de R^2 (0,60 e 0,80) obtidos por Bispo (2002) ao estabelecer regressões lineares entre o fluxo desses nutrientes e o volume de precipitação bruta. Assim, para as condições do presente estudo podemos considerar que os fluxos de Cl, Na e Mg se relacionam com o volume de precipitação bruta de uma forma muito menos evidente do que na área de Pegões.

Dada a variação inter-anual verificada nos volumes da precipitação bruta e nos correspondentes fluxos dos diferentes nutrientes, sublinha-se o facto, de não ter sido possível estabelecer qualquer tipo de relação simples entre os fluxos anuais de qualquer um dos nutrientes estudados e a quantidade de precipitação bruta anual, contrariamente ao estabelecido por Bispo (2002), na área de Pegões, entre os fluxos de Cl, Na, Mg e N [NO₃] e a quantidade de precipitação bruta. Podemos deduzir que no local deste estudo os fluxos anuais dos diferentes nutrientes estarão dependentes de outros factores, para além da quantidade anual de precipitação bruta.

Foi possível estabelecer regressões simples entre os fluxos de H, Ca, Mg, Na, K, Cl e S e as quantidades de gotejo (Figura 3.1.10), bem como entre os fluxos de todos os nutrientes estudados e as quantidades do escorrimento ao longo do tronco (Figura 3.1.11). O valor de R^2 das regressões estabelecidas entre os fluxos de Ca, Mg, Na, Cl e S com a quantidade de gotejo, foi superior a 0,60 evidenciando a função fundamental da precipitação nos processos de lixiviação e lavagem da deposição seca associados a estes nutrientes no GO. A razão dos fluxos de N e de P não se relacionaram com a quantidade de GO poderá ser devida a o facto destes nutrientes apresentarem pontualmente valores de gotejo líquido negativos, em resultado do balanço entre os processos deposição-lixiviação e absorção pender no sentido deste último, levando a que nessas datas o fluxo seja independente da concentração e do volume de gotejo.

No escorrimento ao longo do tronco, o valor de R^2 das regressões estabelecidas entre os fluxos de Ca, Mg, Na, K, Cl e S com a quantidade de gotejo, foi superior a 0,70, tornando ainda mais evidente no ET o peso da precipitação nos processos de lixiviação e lavagem da deposição seca associados a estes nutrientes. O facto dos fluxos de N e de P no ET estabelecerem regressões com o respectivo volume, embora com valores de $R^2 < 0,50$, poderá indicar que a ocorrência pontual de fluxos líquidos negativos de N e de P, não terá no caso do ET obstado ao estabelecimento dessa relação.

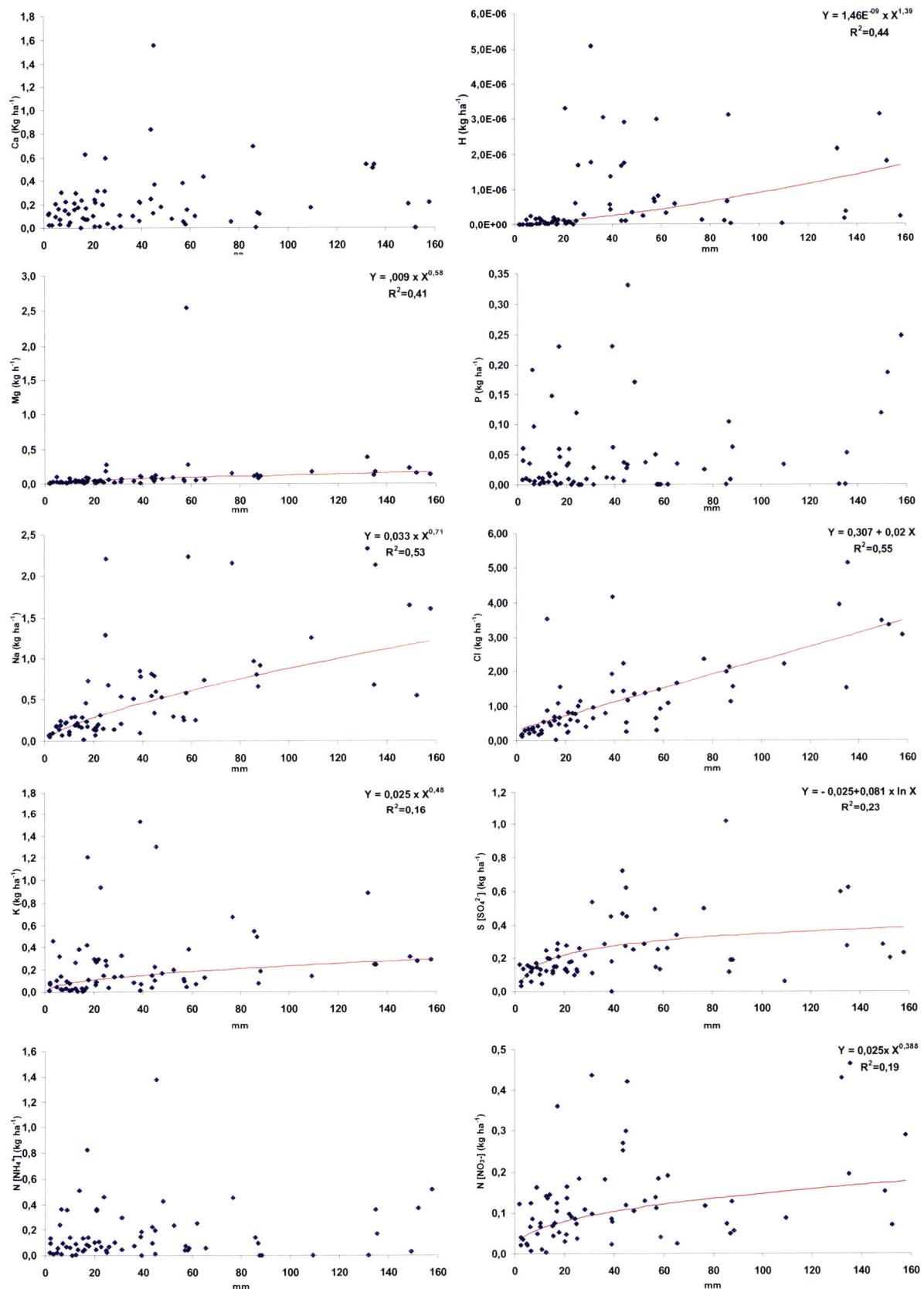


Figura 3.1.9 Relação entre as quantidades de precipitação bruta e os fluxos (kg ha⁻¹) de H, Ca, Mg, Na, K, N de NH₄⁺ e de NO₃⁻, P, Cl e S determinados entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000

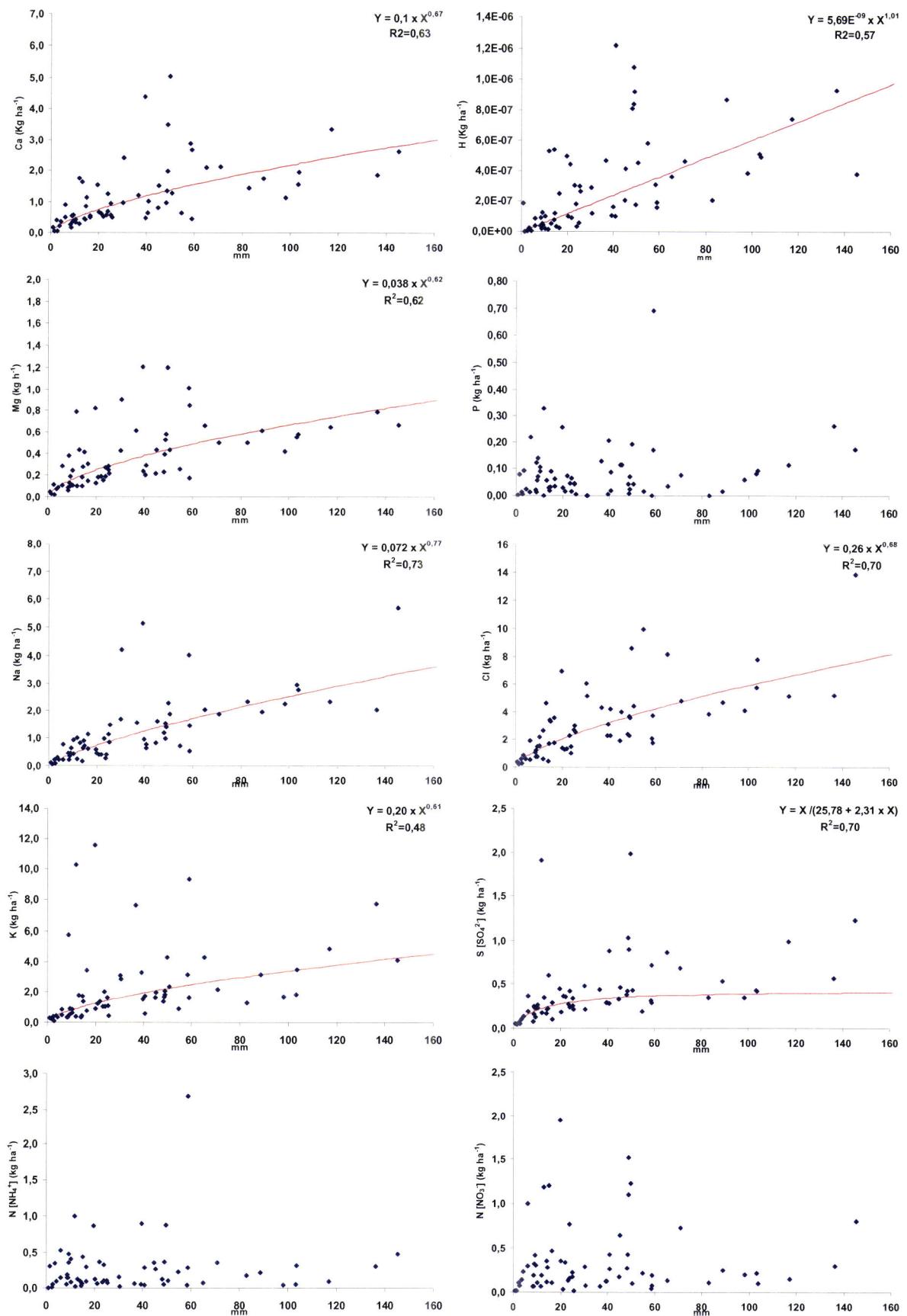


Figura 3.1.10 Relação entre as quantidades de gotejo e os fluxos (kg ha⁻¹) de H, Ca, Mg, Na, K, N de NH₄⁺ e de NO₃⁻, P, Cl e S determinados entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000

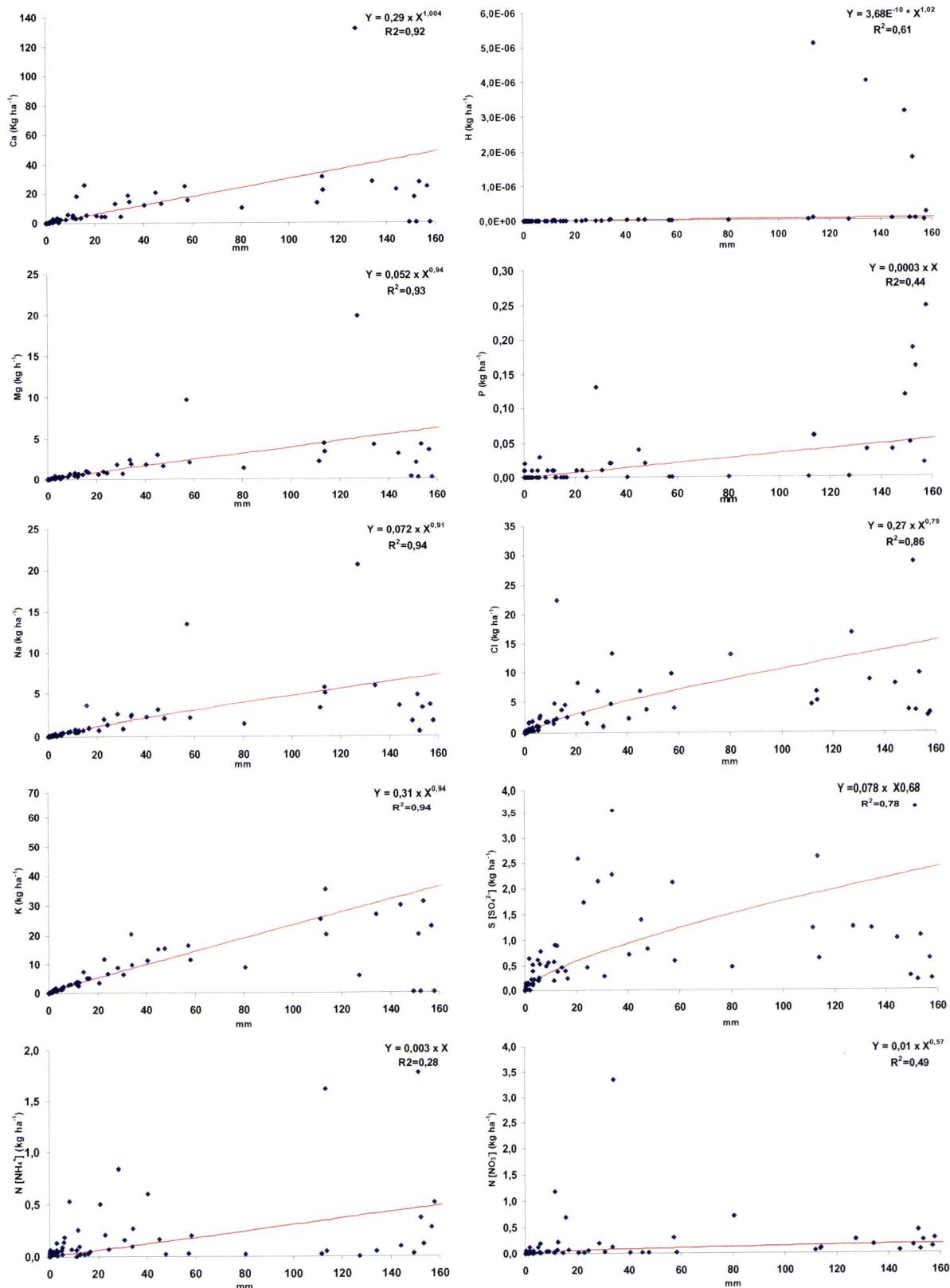


Figura 3.1.11 Relação entre as quantidades de escorrimento ao longo do tronco e os fluxos (kg ha^{-1}) de H, Ca, Mg, Na, K, N de NH_4^+ e de NO_3^- , P, Cl e S determinados entre Novembro de 1996 e Dezembro de 2000

3.1.3 Caracterização da solução do solo

As soluções resultantes da precipitação e do gotejo ao entrarem no solo assumem grande relevância enquanto veículo de nutrientes e agente de dissolução iônica, com reflexos na evolução deste e no funcionamento do ecossistema. A solução do solo resultante, actua como uma via de distribuição de elementos para os diferentes componentes do ecossistema, bem como ao longo do sistema solo (Ugolini *et al.*, 1988).

A caracterização química da solução do solo propicia informação fundamental no que concerne à dinâmica dos ciclos de nutrientes e disponibilidade destes para as plantas, além de fornecer informação sobre o impacto de alterações que ocorram ao nível do ecossistema, como por exemplo, modificações na gestão do sistema florestal, variações significativas dos *inputs* atmosféricos.

Nesta secção discutem-se os resultados respeitantes às características físicas e químicas da solução do solo recolhida sob e fora da acção da copa de *Quercus rotundifolia*, à superfície¹¹ e a 30 cm de profundidade, comparando-se ainda os resultados obtidos no sob coberto através dos dois métodos de colheita.

3.1.3.1 Solução de drenagem

A solução do solo no sob coberto de *Q. rotundifolia* obtida por gravidade exibiu variações na concentração iônica com a profundidade de recolha, tal como tem sido observado por outros autores (Ugolini *et al.*, 1977; Stottlemyer & Hanson Jr., 1989; Ranger *et al.*, 1993; Tokuchi *et al.*, 1993; Menéndez *et al.*, 1995; Marques *et al.*, 1996). Comparativamente ao gotejo, quer os valores de pH, quer a concentração da maioria dos iões analisados, foram superiores na solução de solo recolhida nas duas profundidades (Quadros 3.1.1 e 3.1.17). De um modo geral, a solução recolhida à superfície (cf. Nota 3) caracterizou-se por apresentar concentrações iônicas médias pesadas superiores às da solução recolhida a 30 cm. O valor do pH para as duas profundidades de amostragem foi semelhante entre si e bastante próximo da neutralidade; este padrão foi similar ao observado por Cortez (1996) no mesmo tipo de solução recolhida no sob coberto de um eucaliptal na área de Pegões e de um pinhal situado na Companhia das Lezírias.

¹¹ Por à superfície entende-se, a camada 0-5 cm de solo (por vezes menos) na colheita por gravidade, e a camada 0-10 cm na colheita por sucção

Quadro 3.1.17 Estatística descritiva sumária relativa aos valores de pH e às concentrações ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , N mineral (NH_4^+ e NO_3^-), PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} na solução do solo obtida por gravidade, nas áreas sob a copa das árvores, à superfície e a 30 cm de profundidade, entre Maio de 1998 e Dezembro de 2000

	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+	NO_3^-	PO_4^{3-}	Cl^-	SO_4^{2-}
Drenagem à superfície										
\bar{x}	7,04	474,09	220,92	433,37	173,16	22,87	300,77	2,32	522,58	213,63
\tilde{x}	7,08	341,07	146,05	362,99	128,91	5,93	26,20	0,55	373,27	165,02
$S_{\bar{x}}$	0,06	37,84	23,10	35,25	22,34	6,02	60,08	0,50	51,81	20,73
S	0,57	378,42	230,98	352,46	223,37	60,18	600,76	4,97	518,14	207,35
V	0,08	0,80	1,05	0,81	1,29	2,63	2,00	2,14	0,99	0,97
Min	5,91	54,89	23,04	79,17	3,58	0,00	1,45	0,00	32,13	10,19
Max	9,37	2047,41	1346,99	2251,44	1937,95	431,03	3883,03	38,82	3353,48	1231,47
\bar{x}_w		402,68	183,41	315,84	173,50	22,57	225,60	1,88	397,89	159,25
Drenagem a 30 cm										
\bar{x}	7,25	279,77	170,08	705,57	32,98	11,85	215,67	0,88	475,32	213,21
\tilde{x}	7,26	233,78	108,20	355,38	21,61	3,10	11,10	0,35	292,98	145,03
$S_{\bar{x}}$	0,17	54,00	38,07	175,58	7,46	4,88	136,30	0,26	156,05	80,00
S	0,69	241,47	170,25	785,24	33,38	21,84	594,12	1,17	680,21	348,70
V	0,09	0,86	1,00	1,11	1,01	1,84	2,75	1,33	1,43	1,64
Min	5,88	9,98	15,63	90,91	2,56	0,00	2,30	0,00	65,24	26,30
Max	8,16	879,24	627,01	3378,46	119,95	91,19	2457,18	4,06	3124,24	1618,99
\bar{x}_w		213,98	122,52	414,48	24,14	5,76	46,43	0,43	228,68	111,37

\bar{x} – média aritmética; \tilde{x} – mediana; $S_{\bar{x}}$ - erro padrão; S – desvio padrão V – coeficiente de variação; Min - mínimo; Max – máximo, \bar{x}_w – média ponderada pela quantidade de precipitação.

No caso dos catiões a dominância variou, alternadamente, com a profundidade, entre o Ca^{2+} e o Na^+ , enquanto no dos aniónes o Cl^- foi sempre dominante nas duas profundidades, alternando a segunda posição entre o NO_3^- e o SO_4^{2-} . A dominância do Cl foi igualmente constatada nos trabalhos de Ugolini *et al.* (1977), Stottlemyer & Hanson Jr. (1989), Ranger *et al.* (1993), Tokuchi *et al.* (1993), Menéndez *et al.* (1995) e Marques *et al.* (1996), enquanto a dominância do par Ca-Na apenas foi observada em estudos realizados num pinhal na região de Pegões (Cortez, 1996) e num bosque de *Q. ilex* na região de Barcelona (Melià *et al.*, 1999). Nestes dois estudos o Na foi, no entanto, o ião com maior concentração na solução recolhida nas duas profundidades. O predomínio do Ca à superfície, reflectirá a mineralização da matéria orgânica acumulada nas camadas orgânicas como observado por Marques & Ranger (1996), enquanto a dominância do Cl nas duas profundidades se deverá à grande independência deste anião relativamente aos processos de troca ou absorção biológica ao nível do solo (Melià *et al.*, 1999).

A solução do solo obtida por gravidade fora da acção da copa de *Q. rotundifolia*, do mesmo modo que a recolhida no sob coberto, apresentou variações na concentração iónica com a profundidade de recolha. Comparativamente à precipitação bruta, quer os valores de pH, quer a concentração da maioria dos iões analisados, foram superiores na solução de solo recolhida nas duas profundidades (Quadros 3.1.1 e 3.1.18). A solução recolhida à superfície apresentou concentrações iónicas médias pesadas superiores à da solução recolhida a 30 cm para todos os iões analisados. O valor do pH não variou significativamente com a profundidade, apresentando nas duas profundidades de recolha valores muito próximos da neutralidade.

Quadro 3.1.18 Estatística descritiva sumária relativa aos valores de pH e às concentrações ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , N mineral (NH_4^+ e NO_3^-), PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} na solução do solo obtida por gravidade, nas áreas fora da acção da copa das árvores, à superfície e a 30 cm de profundidade, entre Maio de 1998 e Dezembro de 2000

	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+	NO_3^-	PO_4^{3-}	Cl^-	SO_4^{2-}
Drenagem à superfície										
\bar{x}	7,70	688,50	273,26	1480,14	95,98	55,48	940,08	4,21	998,03	337,03
\tilde{x}	7,66	465,07	187,20	1107,23	73,53	24,84	350,22	1,96	606,83	233,01
$S_{\bar{x}}$	0,10	106,16	55,26	211,24	17,99	25,11	234,94	0,85	154,90	49,16
S	0,54	600,52	312,57	1194,94	101,79	142,02	1329,00	4,79	876,23	278,11
V	0,07	0,87	1,14	0,81	1,06	2,56	1,41	1,14	0,88	0,83
Min	6,36	141,72	14,81	81,34	1,79	0,00	1,34	0,00	81,97	21,70
Max	8,82	2490,02	1262,24	5454,60	416,13	815,71	4536,11	15,52	3051,67	1088,77
\bar{x}_w		632,30	253,19	1290,12	86,45	58,79	897,15	4,57	865,32	286,20
Drenagem a 30 cm										
\bar{x}	7,72	248,92	64,73	1634,91	15,45	9,85	138,92	1,31	340,47	264,60
\tilde{x}	7,82	195,11	52,66	1465,43	9,21	2,22	51,87	0,90	268,74	136,75
$S_{\bar{x}}$	0,15	43,28	12,15	319,32	5,25	3,60	64,86	0,29	67,89	93,05
S	0,59	183,63	51,54	1354,77	22,27	15,29	275,20	1,23	288,05	394,76
V	0,08	0,74	0,80	0,83	1,44	1,55	1,98	0,94	0,85	1,49
Min	6,59	36,43	3,29	92,21	0,00	0,00	9,20	0,00	47,89	39,81
Max	8,52	705,09	179,38	5002,22	97,45	51,83	1207,95	3,51	1030,80	1770,73
\bar{x}_w		238,05	59,48	1685,33	17,54	9,17	92,07	1,29	307,17	289,97

\bar{x} – média aritmética; \tilde{x} – mediana; $S_{\bar{x}}$ - erro padrão; S – desvio padrão V – coeficiente de variação; Min - mínimo; Max – máximo, \bar{x}_w – média ponderada pela quantidade de precipitação.

O Na^+ e o Ca^{2+} foram os catiões dominantes nas duas profundidades, enquanto o NO_3^- foi o anião dominante à superfície e o Cl^- foi dominante a 30 cm de profundidade. O domínio do par Na-Ca na solução de solo colhida fora do sob coberto está de acordo com o observado em estudos análogos (Mc Coll, 1978; Kellman & Sanmugadas, 1985; Koch & Matzner, 1993; Parfitt *et al.*, 1997). O predomínio do NO_3^- à superfície, está em contradição

com as observações dos trabalhos de Mc Coll (1978), Kellman & Sanmugadas (1985), Koch & Matzner (1993) e Parfitt *et al.* (1997), nos quais a concentração deste anião foi sempre inferior às do Cl^- e SO_4^{2-} . Uma explicação para esta concentração tão elevada de nitrato observada na solução de solo colhida à superfície, poderá dever-se a condições particulares do local de amostragem, que facilitem a formação e lixiviação de nitrato nas áreas fora do coberto relativamente às do sob coberto (cf. 3.4.2.3). Os valores da razão C:N no solo das áreas fora da projecção vertical da copa de *Q. rotundifolia*, foram cerca de 50% menores do que os observados, nos estudos anteriores, no solo de áreas nas mesmas condições, o que poderá indicar circunstâncias menos favoráveis à nitrificação. Na área onde se procedeu à colheita da solução de solo fora do sob coberto, a vegetação herbácea que revestia o solo era muito esparsa, pelo que poderá ter ocorrido uma menor eficiência na absorção do nitrato mineralizado, comparativamente às áreas de pastagem avaliadas por Parfitt *et al.* (1997).

O pH da solução recolhida por gravidade não variou significativamente com a profundidade (Quadro 3.1.19) em qualquer dos locais de colheita; no entanto, os valores de pH da solução colhida fora do coberto arbóreo foram significativamente superiores aos recolhidos no respectivo sob coberto. Esta diferença poderá em parte ser explicada pela ocorrência de taxas de nitrificação mais elevadas no solo do sob coberto, que contribuam para uma maior concentração de H^+ na solução de solo colhida nestas áreas (cf. 3.4.2.2). Diversos autores (Mc Coll, 1978; Koch & Matzner, 1993; Parfitt *et al.*, 1997), comparando soluções de solo colhidas sob e fora do coberto de diferentes espécies arbóreas observaram, quer um padrão semelhante ao do presente estudo, quer o padrão inverso, quer ainda a não existência de qualquer diferença significativa.

Quadro 3.1.19 Valores médios de pH e das concentrações médias ponderadas ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , N mineral (NH_4^+ e NO_3^-), PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} na solução do solo obtida por gravidade, nas áreas sob a copa das árvores (SC) e nas áreas fora da acção desta (FC), à superfície e a 30 cm de profundidade, entre Maio de 1998 e Dezembro de 2000

	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+	NO_3^-	PO_4^{3-}	Cl^-	SO_4^{2-}
SC _s	7,04a	402,68 ^a	183,41a	315,84 ^a	173,50a	22,57a	225,60a	1,88a	397,89a	159,25 a
SC ₃₀	7,25a	213,98b	122,52a	414,48a	24,14b	5,76a	46,43a	0,43a	228,68 ^a	111,37 a
FC _s	7,70b	632,30 ^a	253,19a	1290,12b	86,45c	58,79b	897,15b	4,57b	865,32b	286,20b
FC ₃₀	7,72b	238,05b	59,48b	1685,33b	17,54b	9,17a	92,07ab	1,29a	307,17a	289,97ab

Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo Teste *H* de Kruskal-Wallis.

Os valores médios pesados da concentração de Na^+ , azoto mineral (NH_4^+ e NO_3^-), PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} na solução de solo colhida por gravidade fora do sob coberto de *Q.*

rotundifolia, foram significativamente superiores aos observados na solução colhida no sob coberto. O Ca²⁺ e o Mg²⁺ apresentaram o mesmo padrão de comportamento sem, no entanto, diferirem significativamente. Este tendência das concentrações iónicas apresentarem valores superiores na solução colhida fora do sob coberto, está em oposição à às observações de Mc Coll (1978), de Kellman & Sanmugadas (1985), de Koch & Matzner (1993) e de Parfitt *et al.* (1997), em trabalhos onde se comparou a composição química da solução do solo colhida sob e fora da acção da copa das árvores. Uma explicação para esta concentração mais elevada na solução colhida à fora do sob coberto de *Q. rotundifolia* poderá estar relacionada com transporte iónico lateral por via superficial e sub superficial, uma vez que a vala de recolha da solução de drenagem fora do sob coberto, se situou num plano inferior ao do sob coberto, e suficientemente próximo para permitir essa influência.

A concentração de K⁺ na solução colhida à superfície, foi significativamente superior no sob coberto, evidenciando assim o efeito da presença da *Q. rotundifolia*, conforme foi observado em eucalipto (Mc Coll, 1978), pinheiro (Kellman & Sanmugadas, 1985; Parfitt *et al.*, 1997), faia e abeto (Koch & Matzner, 1993).

Os valores médios pesados da concentração de Na⁺, NO₃⁻ e SO₄²⁻, não diferiram significativamente com a profundidade, para qualquer dos locais de colheita. A concentração de Ca²⁺ e K⁺ foi sempre significativamente superior na solução colhida à superfície, enquanto que a concentração de Mg²⁺, NH₄⁺, PO₄³⁻ e Cl⁻ apenas foi significativamente superior na solução colhida à superfície nas áreas fora do sob coberto de *Q. rotundifolia*.

Observou-se na solução de solo colhida por gravidade a tendência para um desequilíbrio entre as concentrações de catiões e aníons, desfavorável a estes últimos. Este desequilíbrio observou-se nas duas profundidades de amostragem, tanto no sob coberto de *Q. rotundifolia* como fora da acção da copa desta. O deficit aniónico apresentou valores muito próximos ($\approx 290 \text{ } \mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) entre as duas situações de amostragem nas amostras colhidas à superfície. A 30 cm de profundidade, o deficit foi mais acentuado nas amostras colhidas fora da acção da copa da árvore (1228,6 $\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) do que nas colhidas no sob coberto (314,0 $\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$). Na área fora da acção da copa da árvore, das amostras colhidas à superfície para as colhidas a 30 cm de profundidade, observou-se um acréscimo na concentração do Na⁺ em simultâneo com um decréscimo muito acentuado da concentração do NO₃⁻ e do Cl⁻. Este facto veio favorecer ainda mais do que à superfície, o balanço das cargas iónicas no sentido dos catiões.

A ocorrência destes deficits tem sido constatada por outros autores (Ranger *et al.*, 1993; Cortez, 1996; Marques *et al.*, 1996; Melià *et al.*, 1999) que referem a existência de grandes quantidades de bicarbonatião que poderão colmatar o deficit observado entre catiões e aníons, o qual para o presente estudo não foi avaliado. Melià *et al.* (1999) em estudos de solução de solo colhida no sob coberto de *Q. ilex*, atribui o deficit de aníons a

duas causas; uma seria a existência de aníões orgânicos insuficientemente fracos para terem sido avaliados em conjunto com a alcalinidade, a outra seria uma sobre determinação, pela absorção atómica, de catiões complexados na solução de solo.

A amostragem da solução de solo por gravidade em sistemas ecológicos que ocorrem em situação de clima mediterrânico, encontra-se claramente dependente do regime da precipitação (Melià *et al.*, 1999). Apesar da variação inter e intra anual da precipitação, durante o período de amostragem, os máximos de concentração na solução colhida no sob coberto da azinheira (Figura 3.1.12 - a), tenderam a ocorrer nas amostragens Outono, com posterior decréscimo ao longo dos períodos chuvosos. Fora do sob coberto da azinheira (Figura 3.1.12 - b), não se observou este padrão no primeiro ano, por o volume das colheitas outonais ter sido nulo. Estes máximos estarão relacionados primordialmente com a decomposição da folhada, nas áreas do sob coberto e da vegetação herbácea senescente, nas áreas fora da copa da árvore, os quais em resultado da forte lavagem exercida pelas chuvas outonais, cederão elevada quantidade de nutrientes à solução do solo.

Este padrão sazonal de diluição da concentração foi igualmente constatado por Cortez (1996) na solução de solo colhida num eucaliptal na área de Pegões e num pinhal situado na Companhia das Lezírias. Melià *et al.* (1999) referem idêntico padrão na mesma solução colhida no sob coberto de *Q. ilex* em bosques na região de Barcelona.

Em estudos anteriores da solução de drenagem (Nunes, 1998) realizados no mesmo local mas com recurso a um diferente sistema de amostragem, observou-se a coincidência entre a ocorrência de baixos valores de pH e a ocorrência de concentrações muito elevadas de nitrato na solução de drenagem. A confirmação desta coincidência seria um dado importante, pois diferentes estudos verificaram a ocorrência de correlações negativas entre o processo de nitrificação e a concentração de H^+ (Tietema *et al.*, 1992, 1993). Contrariamente ao esperado, na solução de solo recolhida por gravidade no presente estudo, não se verificou a coincidência entre valores de pH reduzidos e elevadas concentrações de nitrato, quer na solução colhida no sob coberto da azinheira (Figura 3.1.13) quer na solução colhida fora da influência deste (Figura 3.1.14). Este facto é corroborado pela inexistência de correlações significativas entre os valores de pH e as concentrações de NO_3^- para qualquer um dos locais de amostragem, bem como para qualquer uma das profundidades de colheita. Não serão portanto de esperar decréscimos substanciais nos valores de pH do solo em resultado do processo de nitrificação, mesmo nas áreas do sob coberto, em que como resultado de condições mais favoráveis, este processo é normalmente mais elevado do que nas áreas fora da copa da árvore (Marques *et al.*, 1996).

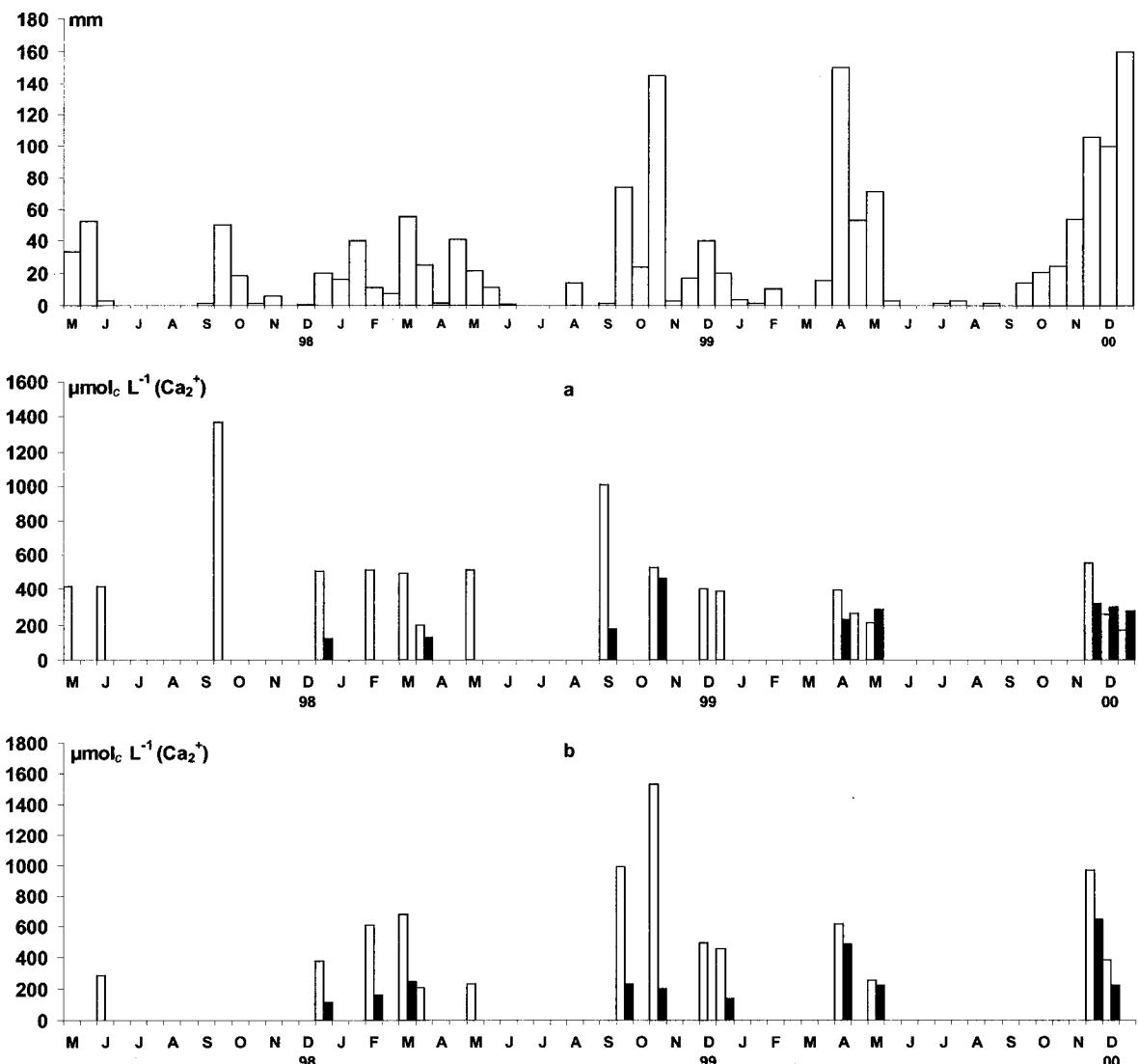


Figura 3.1.12 Concentrações médias quinzenais de Ca^{2+} na solução de solo obtida por gravidade, nas áreas sob a copa das árvores (a) e nas áreas fora da acção desta (b), à superfície (□) e a 30 cm (■) de profundidade entre Maio de 1998 e Dezembro de 2000.

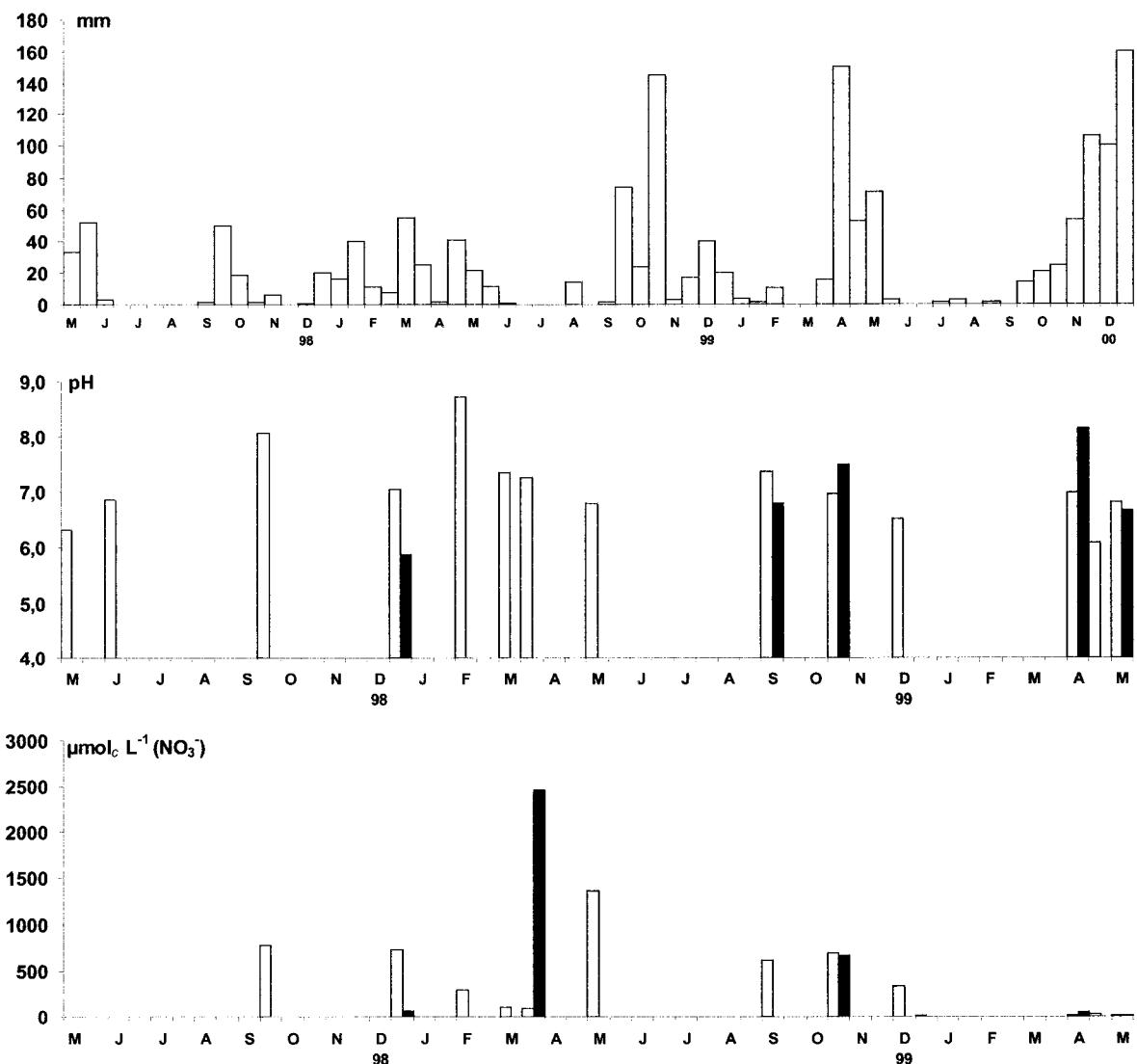


Figura 3.1.13 Valores de pH e concentrações médias quinzenais de NO_3^- na solução de solo obtida por gravidade, nas áreas sob a copa das árvores, à superfície (□) e a 30 cm (■) de profundidade entre Maio de 1998 e Dezembro de 2000.

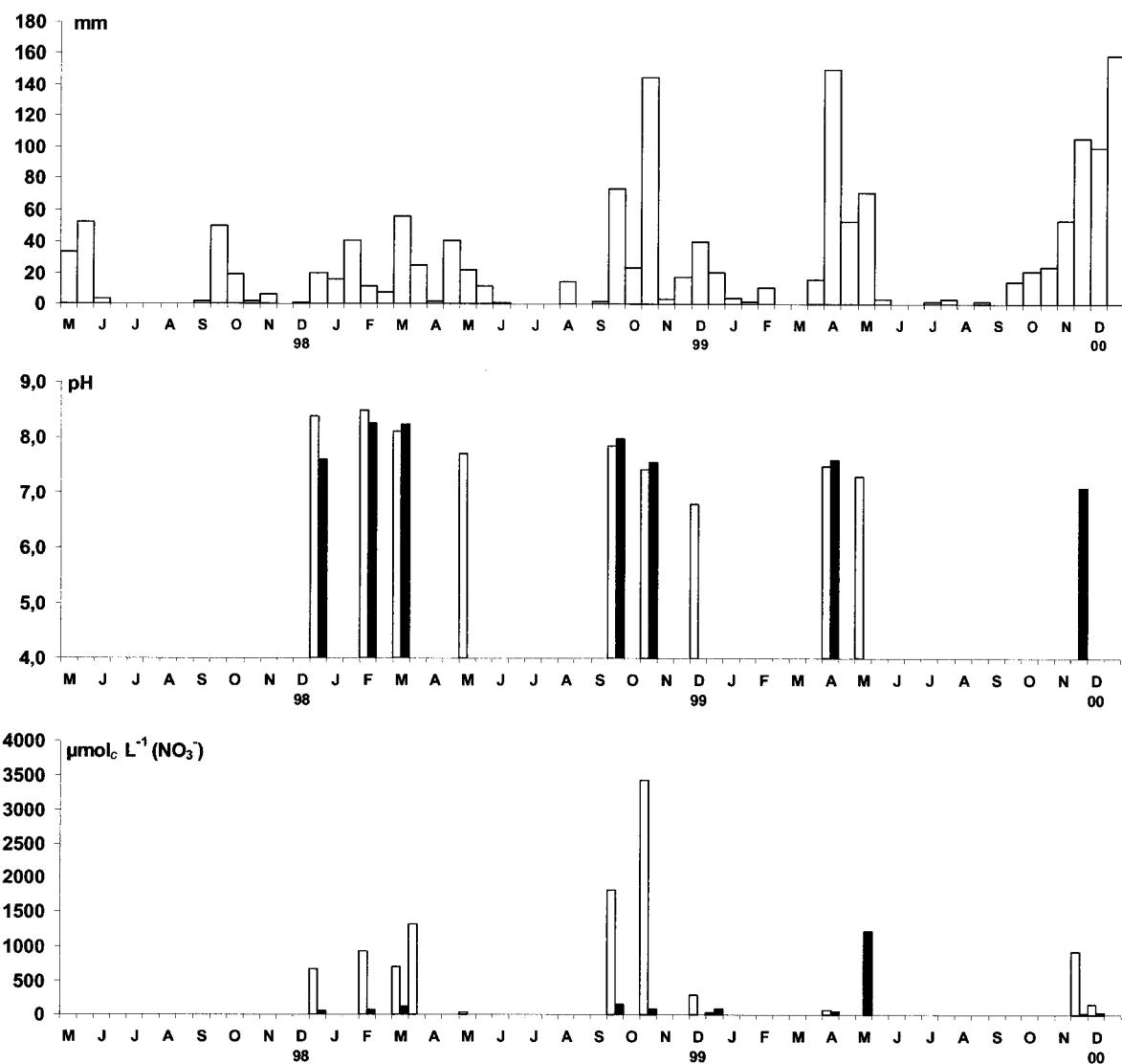


Figura 3.1.14 Valores de pH e concentrações médias quinzenais de NO_3^- na solução de solo obtida por gravidade, nas áreas fora da acção da copa das árvores, à superfície (□) e a 30 cm (■) de profundidade entre Maio de 1998 e Dezembro de 2000.

3.1.3.2 Solução de sucção

A solução do solo obtida por sucção, no sob coberto de *Q. rotundifolia* tal como já se tinha verificado para a solução colhida por drenagem, exibiu variações na concentração iônica com a profundidade de amostragem (Quadro 3.1.20) tal como tem sido observado por outros autores (McColl, 1978; Sollins *et al.*, 1980, Kellman & Sanmugadas, 1985; Stevens, *et al.*, 1989; Adams & Attiwill, 1991; Edmonds *et al.*, 1991; Adamson *et al.*, 1993; Koch & Matzner, 1993; Berger & Glatzel, 1994; Farrell *et al.*, 1994; Marques *et al.*, 1996; Parfitt *et al.*, 1997; Bartsch, 2000; Chang & Matzner, 2000; Sato & Wakamatsu, 2001). De um modo geral, a solução colhida à superfície apresentou concentrações iônicas médias pesadas

inferiores às da solução colhida a 30 cm, contrariamente ao observado na solução colhida por drenagem. O valor do pH para as duas profundidades de amostragem foi semelhante entre si e bastante próximo da neutralidade, embora inferior ao observado para a solução de drenagem. O padrão apresentado pelo pH diferiu do observado por Cortez (1996) no mesmo tipo de solução colhida num eucaliptal na área de Pegões e num pinhal situado na Companhia das Lezírias; esse padrão também foi contrário ao observado em florestas de abeto nos EUA e Reino Unido (Edmonds *et al.*, 1991; Stevens *et al.*, 1989), em florestas de larício no Reino Unido (Adamson *et al.*, 1993), em florestas de carvalhos na Áustria (Berger & Glatzel, 1994). Estudos realizados em bosques de *Q. ilex* na região de Barcelona, em condições de clima mediterrânico, tal como no presente estudo, foi observado um ligeiro aumento de acidez na solução de solo colhida a maior profundidade, relativamente à colhida à superfície do solo (Melià, *et al.*, 1999).

De forma análoga ao observado na solução colhida por gravidade, a dominância dos catiões pertenceu alternadamente ao Ca^{2+} e ao Na^+ , enquanto nos anionas esta alternância ocorreu entre o Cl^- e o SO_4^{2-} . Este padrão de alternância com a profundidade, nos catiões e nos anionas cuja concentração foi dominante na solução de sucção, não foi observado em nenhum dos estudos referidos.

O pH da solução recolhida por sucção não variou significativamente com a profundidade (Quadro 3.1.21), no entanto os valores de pH apresentaram um ligeiro decréscimo com a profundidade.

A concentração média pesada do K^+ na solução colhida à superfície do sob coberto foi significativamente superior à da solução colhida a 30 cm de profundidade, em resultado da devolução deste ião à camada superficial do solo através da lixiviação das folhas e da queda de folhada de *Q. rotundifolia*, conforme é referido por diversos autores (McColl, 1978; Sollins *et al.*, 1980, Kellman & Sanmugadas, 1985; Stevens, *et al.*, 1989; Adams & Attiwill, 1991; Edmonds *et al.*, 1991; Adamson *et al.*, 1993; Koch & Matzner, 1993; Berger & Glatzel, 1994; Farrell *et al.*, 1994; Marques *et al.*, 1996; Parfitt *et al.*, 1997; Bartsch, 2000; Chang & Matzner, 2000; Sato & Wakamatsu, 2001).

A concentração média pesada dos restantes iões, na solução colhida a 30 cm de profundidade foi superior à observada na solução colhida à superfície, ainda que este acréscimo apenas tenha sido significativo para a concentração dos iões Na^+ e o NO_3^- , evidenciando a maior mobilidade do sódio no complexo de troca e a lavagem do nitrato ao longo do perfil e, adicionalmente, um efeito de concentração por acção do método de colheita, conforme sugerem Marques *et al.* (1996).

Quadro 3.1.20 Estatística descritiva sumária relativa aos valores de pH e às concentrações ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , N mineral (NH_4^+ e NO_3^-), PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} na solução do solo obtida por sucção, nas áreas sob a copa das árvores, à superfície e a 30 cm de profundidade, entre Maio de 1998 e Dezembro de 2000

pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+	NO_3^-	PO_4^{3-}	Cl^-	SO_4^{2-}	
Sucção à superfície										
\bar{x}	6,67	275,72	147,39	211,85	96,09	4,01	32,28	0,27	321,08	318,62
\tilde{x}	6,77	237,28	129,60	199,65	93,87	2,83	6,25	0,04	232,45	136,50
S_x	0,09	16,97	7,91	10,03	4,81	0,44	10,11	0,04	30,58	132,74
S	0,87	167,98	78,31	99,33	47,59	4,36	99,53	0,40	302,72	1307,34
V	0,13	0,61	0,53	0,47	0,50	1,09	3,08	1,47	0,94	4,10
Min	2,70	59,38	60,07	73,08	9,46	0,00	1,51	0,00	69,56	14,30
Max	8,12	1112,77	573,52	658,12	275,46	27,94	806,34	1,69	2229,09	12576,93
\bar{x}_w		264,36	142,59	201,35	94,84	3,66	32,15	0,28	300,74	243,11
Sucção a 30 cm										
\bar{x}	6,39	313,80	233,20	358,48	17,28	5,69	580,35	0,43	523,65	653,46
\tilde{x}	6,61	243,26	148,93	291,00	11,51	3,02	16,57	0,19	240,05	193,21
S_x	0,19	44,25	39,71	26,91	3,08	0,97	266,61	0,07	82,11	265,64
S	1,33	336,97	302,46	204,96	23,43	7,42	2030,44	0,56	625,34	2023,03
V	0,21	1,07	1,30	0,57	1,36	1,30	3,50	1,29	1,19	3,10
Min	2,52	46,41	41,96	156,16	1,79	0,00	1,47	0,00	55,64	5,08
Max	7,80	2246,51	1888,42	1155,30	174,18	34,32	14127,92	2,12	3152,60	11097,51
\bar{x}_w		292,47	228,25	351,84	16,43	5,98	477,55	0,43	515,64	542,60

\bar{x} – média aritmética; \tilde{x} – mediana; S_x - erro padrão; S – desvio padrão V – coeficiente de variação;
Min - mínimo; Max – máximo, \bar{x}_w – média ponderada pela quantidade de precipitação.

Quadro 3.1.21 Valores médios de pH e das concentrações médias ponderadas ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , N mineral (NH_4^+ e NO_3^-), PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} na solução do solo obtida por sucção, nas áreas sob a copa das árvores, à superfície e a 30 cm de profundidade, entre Maio de 1998 e Dezembro de 2000

pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+	NO_3^-	PO_4^{3-}	Cl^-	SO_4^{2-}	
Sup.	6,67	264,36	142,59	201,35**	94,84**	3,66	32,15**	0,28	300,74	243,11
30 cm	6,39	292,47	228,25	351,84**	16,43**	5,98	477,55**	0,43	515,64	542,60

A presença de ** corresponde a diferenças muito significativas ($p<0,01$) pelo Teste U de Mann-Whitney.

Na solução de solo colhida por sucção a tendência para um desequilíbrio entre as concentrações de catiões e anionas, desfavorável a estes últimos, também se observou para a solução colhida à superfície. Neste caso o desequilíbrio observado foi menos desfavorável do que o verificado na solução colhida por gravidade, o que está de acordo com os estudos de Marques *et al.* (1996), que consideraram as soluções de solo obtidas por sucção mais

equilibradas do que as obtidas por gravidade, no que diz respeito aos processos biogeoquímicos chave. Pelo contrário, na solução colhida à superfície e para a solução colhida por gravidade a 30 cm, observou-se um deficit favorável aos aníões, resultante do forte acréscimo de concentração registado na maioria deles comparativamente à solução colhida por gravidade. Este forte acréscimo dos aníões deverá estar fortemente relacionado com o método de colheita por succção, em que se retira preferencialmente a fase fixa da solução de solo, à qual corresponde um tempo de residência no solo superior. Em resultado desse maior tempo de residência no solo, a composição química da solução de solo é fortemente afectada (Marques *et al.*, 1996).

Tal como se observou na solução colhida por gravidade, os máximos de concentração na solução colhida no sob coberto da azinheira (Figura 3.1.12), pareceram ocorrer nas primeiras colheitas de Outono, com posterior decréscimo ao longo dos períodos chuvosos.

A coincidência entre a ocorrência de baixos valores de pH e a ocorrência de concentrações muito elevadas de NO_3^- na solução de drenagem, referida anteriormente para a solução de solo colhida por gravidade, parece verificar-se na solução de solo colhida por succção (Quadro 3.1.15). Esta coincidência assume maior realce durante o final do ano de 1998 e o inicio do ano de 1999, com por exemplo, valores de concentração de nitrato de 2.983,88 $\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$ a corresponderem a um pH de 2,77 na solução colhida à profundidade de 30 cm, na segunda quinzena de Outubro de 1998.

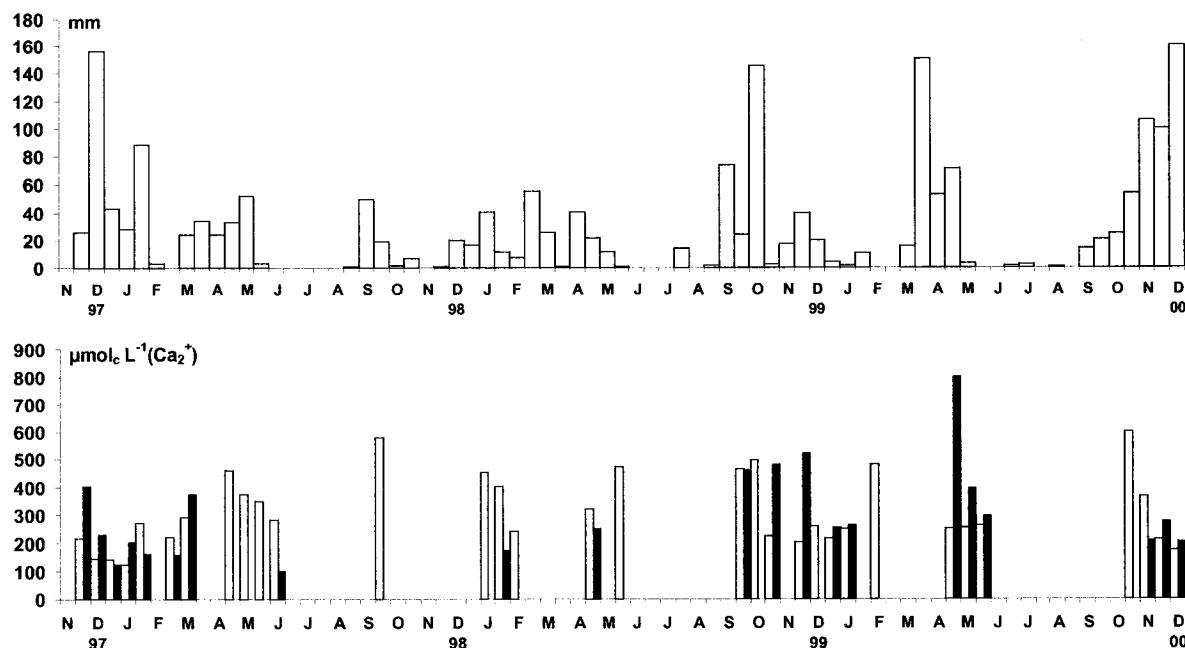


Figura 3.1.15 Concentrações médias quinzenais de Ca^{2+} na solução de solo obtida por succção, nas áreas sob a copa das árvores, à superfície (◻) e a 30 cm (■) de profundidade entre Novembro de 1997 e Dezembro de 2000.

A existência de uma relação inversa entre os valores de pH e os valores da concentração em NO_3^- , parece ser confirmada pela obtenção correlações negativas e significativas ($p<0,05$) entre o pH e a concentração de NO_3^- , quer na solução colhida à superfície ($r=-0,68$; $p<0,001$), quer na solução colhida a 30cm de profundidade ($r=-0,47$; $p<0,05$).

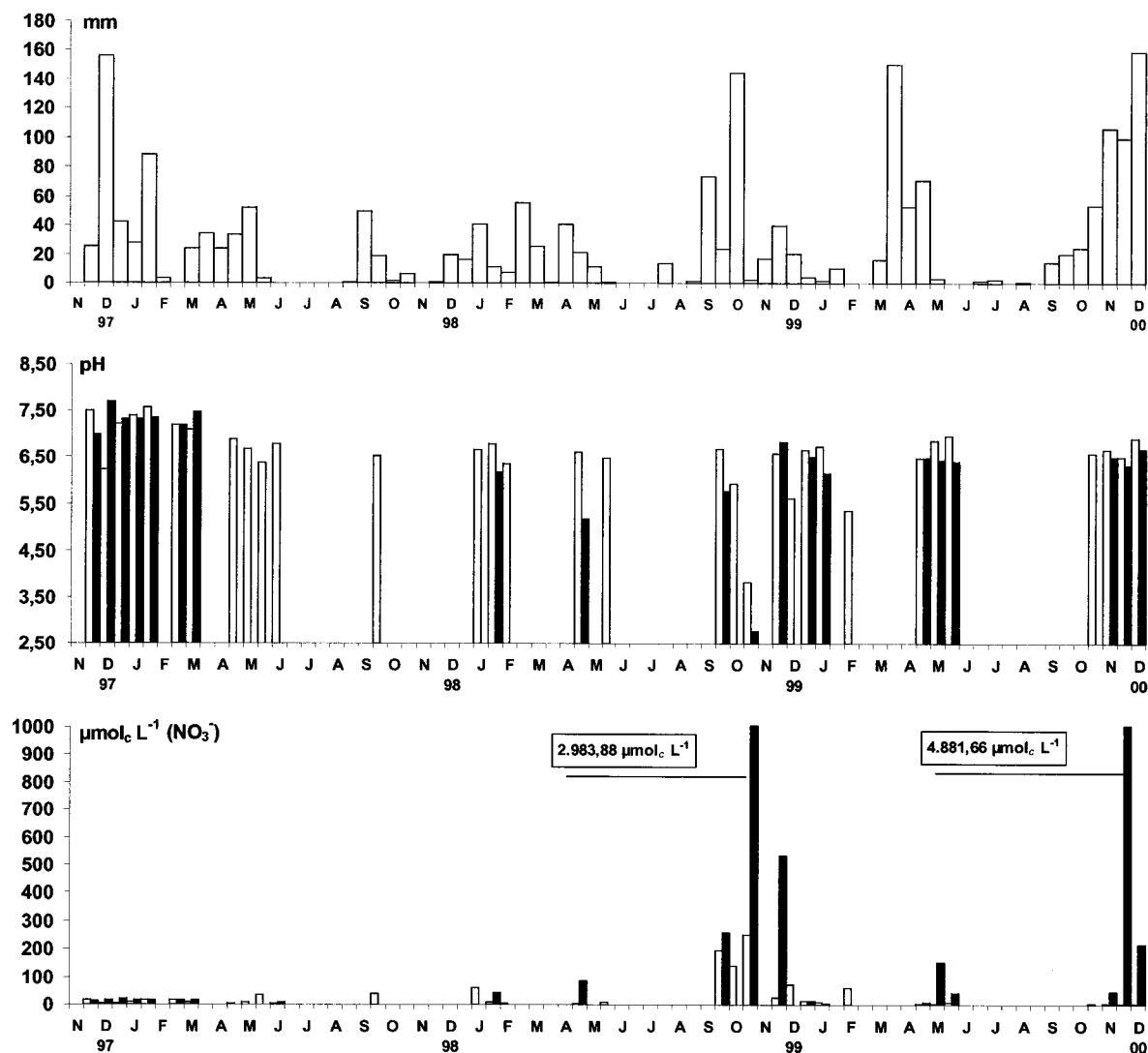


Figura 3.1.16 Valores de pH e concentrações médias quinzenais de NO_3^- na solução de solo obtida por sucção, nas áreas sob a copa das árvores, à superfície (□) e a 30 cm (■) de profundidade entre Novembro de 1997 e Dezembro de 2000.

Os valores do pH da solução colhida por gravidade foram significativamente superiores aos da solução colhida por sucção, para as duas profundidades (Quadro 3.1.22), sendo contrário às observações de Cortez (1996) num eucaliptal, em que os valores de pH foram significativamente superiores na solução colhida por sucção. Marques *et al.* (1996) em

florestas de abeto, não verificou qualquer diferença significativa entre os valores de pH da solução de solo obtida pelos dois métodos referidos.

O padrão de variação dos valores de pH com a profundidade de colheita inverteu-se consoante o método de colheita, tendo-se observado um ligeiro acréscimo na colheita por gravidade e um ligeiro decréscimo na colheita por sucção.

A solução de gravidade colhida à superfície, apresentou de um modo geral concentrações significativamente mais elevadas do que as de sucção, excepto para o SO_4^{2-} que foi significativamente mais elevado na solução de sucção.

Quadro 3.1.22 Valores médios de pH e das concentrações médias ponderadas ($\mu\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , N mineral (NH_4^+ e NO_3^-), PO_4^{3-} , Cl^- e SO_4^{2-} na solução do solo obtida por gravidade (GR) e por sucção (SU), nas áreas sob a copa das árvores, à superfície e a 30 cm de profundidade, entre Maio de 1998 e Dezembro de 2000

pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+	NO_3^-	PO_4^{3-}	Cl^-	SO_4^{2-}	
Solução à superfície										
GR	7,04**	402,68**	183,41	315,84**	173,50	22,57**	225,60**	1,88**	397,89**	159,25*
SU	6,67**	264,36**	142,59	201,35**	94,84	3,66**	32,15**	0,28**	300,74**	243,11*
Solução a 30 cm										
GR	7,25**	213,98	122,52**	414,48**	24,14	5,76	46,43	0,43**	228,68	111,37
SU	6,39**	292,47	228,25**	351,84**	16,43	5,98	477,55	0,43**	515,64	542,60

A presença de * e de ** corresponde respectivamente a diferenças significativas ($p<0,05$) e muito significativas ($p<0,01$) pelo Teste U de Mann-Whitney.

A solução colhida por sucção a 30 cm de profundidade apresentou, de um modo geral, concentrações mais elevadas do que as observadas na solução colhida por gravidade, embora apenas a concentração de Mg^{2+} tenha sido significativamente superior.

Esta variação das concentrações com a profundidade e com o método de colheita, foi também observada nos estudos de Marques *et al.* (1996). Atendendo a que, nas condições do nosso local de estudo, a precipitação média anual é inferior e a sua distribuição ao longo do ano é mais irregular, é comum ocorrerem períodos em que a quantidade de precipitação não é suficiente para a obtenção de amostras por gravidade, em alguns dos pontos de amostragem, originando menor número de amostras do que as obtidas na colheita por sucção, factor que poderá ter influenciado ainda mais a variação observada.

3.1.4. Conclusões

A composição iônica da precipitação bruta foi influenciada de igual modo, quer pelo transporte de iões a longa distância pela precipitação, quer pela lavagem da atmosfera local no momento em que a precipitação ocorria.

O gotejo e o escorramento ao longo do tronco apresentaram uma concentração iônica significativamente mais elevada do que a verificada para a precipitação bruta, tendo-se igualmente verificado, de um modo geral, uma diferenciação significativa com o aumento da distância ao tronco. A diferenciação das características do solo sob coberto relativamente às zonas fora da área de influência da copa deverá estar em correspondência com o padrão de variação espacial da restituição de nutrientes ao solo pelo gotejo e escorramento ao longo do tronco.

As concentrações em nutrientes na solução do solo obtida por gravidade tenderam a diminuir com a profundidade, excepto para o sódio cuja concentração aumentou com a profundidade, quer na solução colhida sob a acção da copa da árvore, quer na solução colhida fora da acção desta. A concentração de K à superfície foi superior na solução colhida nas áreas do sob coberto da azinheira, demonstrando o efeito da presença da árvore na solução de gravidade.

A variação da concentração em nutrientes, com a profundidade, apresentou um padrão inverso do observado na solução de gravidade, excepto para o potássio que apresentou a concentração mais baixa à profundidade maior. A solução de succção colhida à superfície nas áreas do sob coberto, tendeu a apresentar menores concentrações do que as observadas na solução de drenagem, colhida nas mesmas condições. Nas amostras colhidas à profundidade de 30 cm o padrão registado foi o inverso.

O solo do sob coberto de *Q. rotundifolia* não aparenta ter perdas de nutrientes, antes funcionando o sistema solo-árvore em ciclo aberto, recebendo inputs via atmosfera, e reciclando os nutrientes devolvidos ao solo via gotejo, escorramento ao longo tronco e queda de folhada.

3.2. Ambiente físico sob e fora da acção da copa das árvores

A existência da vegetação, especialmente de coberto arbóreo e/ou arbustivo, e o tipo de arquitectura do sistema vegetal, alteram as características do microclima devido sobretudo, à intercepção da energia radiante, à intercepção e redistribuição da precipitação; à alteração do regime de evaporação da água do solo e à alteração local do regime de vento (Oke, 1978). A acção do coberto arbóreo-arbustivo tem sido evidenciada sobre, entre outros parâmetros, na intercepção da radiação (Olivier, 1982; Breshears *et al.*, 1997; Ong *et al.*, 1997; Mayer *et al.*, 2002; Zhao *et al.*, 2002, 2003; Yrdaw & Luukkanen, 2004), na redução da temperatura do ar sob a copa das árvores (Olivier, 1982; Morecroft *et al.*, 1998; Koh *et al.*, 2003), na redução da temperatura do solo na área condicionada pelo sombreamento (Olivier, 1982; Breshears *et al.*, 1998; Morecroft *et al.*, 1998, Koh *et al.*, 2003; Paul *et al.*, 2004), na diminuição da velocidade do vento no sob coberto (Olivier, 1982; Morecroft *et al.*, 1998; Zhao *et al.*, 2002,); que por sua vez podem influenciar positiva ou negativamente a produtividade da vegetação do sob coberto (Ludwing, 2001; Silva-Pando *et al.*, 2002, Härdtle *et al.*, 2003 Koh *et al.*, 2003) e acelerar ou retardar os processos químicos e biológicos do solo dessas áreas (Bauhus & Bartsh, 1995, Laporte *et al.*, 2002).

Os montados de sobre e azinho terão uma acção sobre os parâmetros do microclima diversa daquela que se verifica em povoamentos florestais, como por exemplo o pinhal ou o eucaliptal. Enquanto nestes últimos se procura uniformizar as dimensões dos indivíduos que compõe o povoamento bem como os compassos que se verificam entre eles, o montado é um ecossistema maioritariamente formado por árvores esparsas e com dimensões diferenciadas em resultado de uma distribuição etária diversificada, donde resulta uma acção fragmentada sobre os parâmetros do microclima, entre as áreas do sob coberto e as áreas fora da acção deste.

De modo a caracterizar a acção do coberto arbóreo e arbustivo do montado do presente estudo, mediram-se de modo contínuo alguns parâmetros microclimáticos sob e fora da acção do coberto de *Quercus rotundifolia*, bem como sob a acção do estrato arbustivo existente neste montado.

Nesta secção apresentam-se e discutem-se os resultados respeitantes à radiação fotossinteticamente activa, à radiação global e à temperatura do solo, para o ano de 2001, aquele em que foi possível reunir um conjunto mais completo de dados, além de ter sido um ano cujas características climáticas foram representativas dos diferentes anos de estudo.



3.2.1 Radiação fotossinteticamente activa

Os valores médios horários da radiação fotossinteticamente activa (PAR) atingiram o seu máximo no mês de Junho e o mínimo no mês de Dezembro, tendo os meses de Março e Setembro um comportamento bastante semelhante entre si, quer para a radiação incidente, quer para a radiação medida sob coberto de *Q. rotundifolia* (Figura 3.2.1).

Em geral, a PAR sob coberto foi significativamente inferior aquela medida fora da acção da copa, ao longo do dia.

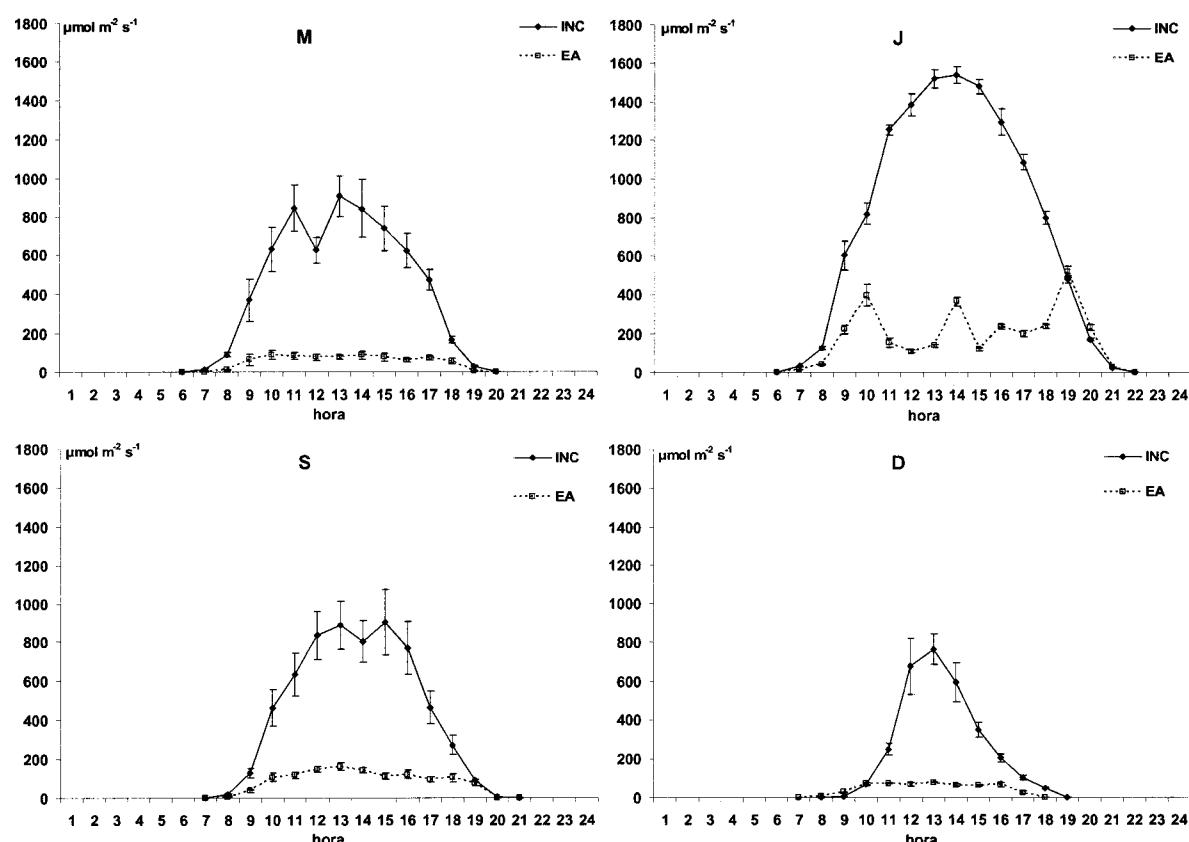


Figura 3.2.1 Valores médios horários da radiação fotossintéticamente activa, incidente (INC) e transmitida através do estrato arbóreo (EA) de *Q. rotundifolia*, durante uma semana de Março, uma de Junho, uma de Setembro e uma de Dezembro de 2001.

As diferenças encontradas entre o padrão de variação horária da PAR incidente e o da transmitida através da copa de *Quercus rotundifolia* estão de acordo com o observado por outros autores em caducifólias e coníferas (Bell *et al.*, 2000), em *Fagus sylvatica* L. (Mayer *et al.*, 2002) e em *Pinus sp.* (Silva-Pando *et al.*, 2002).

O padrão na variação horária da PAR transmitida através dos estratos arbóreo-arbustivo (EAa) e arbustivo (Ea) diferiu expressivamente de Março para Junho, bem

como destes em relação ao padrão verificado em Setembro e Dezembro (Figura 3.2.2). No mês de Março apenas se verificaram pontualmente (10, 18 e 19 horas) diferenças significativas entre os dois tipos de coberto, enquanto no mês de Junho a PAR transmitida através do coberto arbustivo foi significativamente superior à transmitida através do coberto arbóreo-arbustivo para a quase totalidade do percurso horário, podendo-se atribuir a inversão de posições no período das 10-11 horas à posição dos sensores. Durante Setembro e Dezembro observou-se um padrão comum, materializado numa significativamente maior transmissão da PAR pelo Ea durante o período das 12-18 horas.

Um número significativo das diferenças observadas pontualmente nos padrões diários da PAR para as diferentes situações resultará da posição dos sensores, que serão sujeitos a mais ou menos luz consoante o mês em questão.

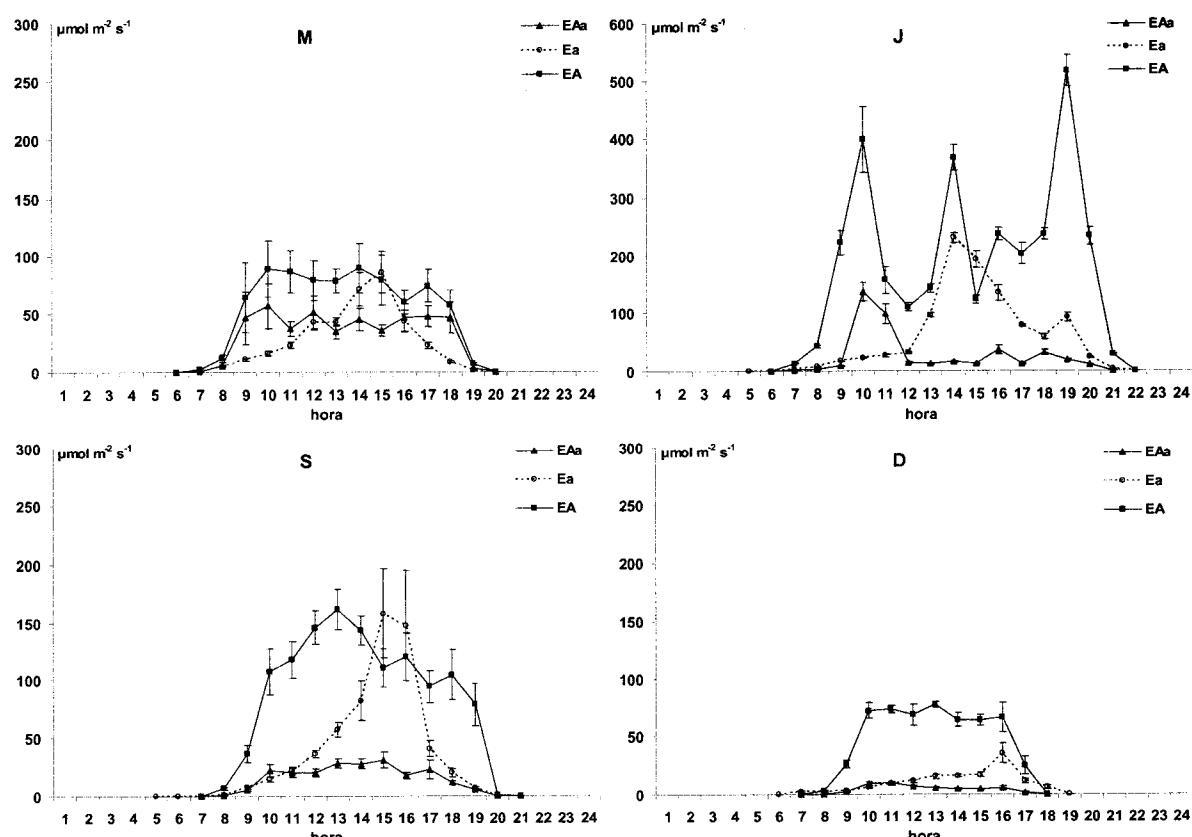


Figura 3.2.2 Valores médios horários radiação fotossinteticamente activa (PAR) transmitida através dos estratos arbóreo (EA), arbóreo-arbustivo (EAa) e arbustivo (Ea), durante uma semana de Março, uma de Junho, uma de Setembro e uma de Dezembro de 2001.

O padrão de variação da PAR transmitida através do estrato arbustivo (Ea) segue o observado noutras espécies de arbustos como *Artemisia tridentata* e *Chrysothamnus nauseosus* em zonas áridas de E.U.A (Forseth *et al.*, 2001).

A PAR incidente acumulada fora do coberto (Quadro 3.2.1) foi sempre significativamente superior à PAR acumulada sob a acção de qualquer um dos estratos estudados, apresentando desde valores 8 vezes superiores ao acumulado sob EA (Março), a valores 22 e 57,8 vezes superiores (Dezembro) acumulados respectivamente sob Ea e EAa.

A percentagem de PAR interceptada (Quadro 3.2.1) pela copa da azinheira (INT_{EA}) foi inferior à interceptada, quer pela copa dos arbustos (INT_{Ea}), quer pela sobreposição da copa da azinheira à copa dos arbustos (INT_{EAa}).

Quadro 3.2.1 Valores médios ($mol\ m^{-2}\ dia^{-1}$) da radiação fotossinteticamente activa acumulada, incidente (INC) e transmitida através dos estratos arbóreo (EA), arbóreo/arbustivo (EAa), arbustivo (Ea), bem como da fracção (%) interceptada pelos diferentes estratos (INT), durante os meses de Março, Junho, Setembro e Dezembro de 2001.

	INC	EA	INT_{EA}	EAa	INT_{EAa}	Ea	INT_{Ea}
Março	22,90 _a (6,31)	2,81 _b (1,31)	88,18	1,66 _c (0,63)	92,92	1,36 _c (0,34)	93,95
Junho	45,41 _a (4,11)	10,93 _b (0,99)	75,91	1,50 _c (0,23)	96,72	3,68 _d (0,32)	91,98
Setembro	22,61 _a (7,19)	4,42 _b (0,91)	79,49	0,78 _c (0,22)	96,51	2,15 _d (0,98)	90,83
Dezembro	11,00 _a (3,63)	1,94 _b (0,20)	80,60	0,19 _c (0,04)	98,22	0,50 _d (0,14)	95,08

Letras diferentes na mesma linha correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo Teste H de Kruskal-Wallis.

A observação de variações na percentagem de intercepção da PAR pela copa da azinheira determinada para cada um dos meses, está de acordo com a variação no efeito do copado de acordo com a estação do ano (Frost & McDougald 1989; Yirdam & Luukkanen, 2004). Esta variação temporal do efeito da copa da azinheira na intercepção da PAR estará relacionada com o renovo das folhas cujo pico da queda ocorre entre o final do Inverno e meados do Verão (Nunes et al., 1999), coincidente com o mês em que a percentagem intercepção é menor. Mayer et al. (2002) observou de igual modo uma variação mensal na percentagem de intercepção em *Fagus sylvatica* L., relacionada com a presença ou ausência de folhas na copa. A menor variação na percentagem de intercepção da PAR no EAa relativamente ao Ea, dever-se-á por uma lado suplemento de cobertura correspondente à copa da árvore que compensa a perda de folhas pelo arbusto durante o Verão (Martens et al., 2000), e por outro às diferenças entre arbustos de sol e de sombra, quanto à estrutura da copa, conforme é realçado pelas diferenças observadas no curso diurno entre a PAR transmitida pelo estrato arbóreo-arbustivo (EAa) e arbustivo (Ea). Os arbustos de sombra apresentam de um modo geral folhas mais finas e em menor número, bem como uma menor densidade de ramos, enquanto os arbustos de sol, pelo contrário, possuem folhas mais grossas e em maior número, e uma maior densidade de ramos (Simões, 2002; Pereira, 2003).

O acréscimo de intercepção da PAR devido à sobreposição da copa da azinheira à copa dos arbustos (EAa), comparativamente à percentagem de intercepção determinada para os arbustos fora do coberto, foi no máximo de 5,68 %. Este valor foi determinado para o mês de Setembro, período no qual os arbustos apresentam uma redução muito significativa no número de folhas (Simões, 2002; Pereira, 2003), realçando-se nesta altura o efeito supletivo da copa da árvore

Do conjunto dos dados apresentados ressalta que a PAR incidente (INC) foi superior à transmitida pelo estrato arbóreo (EA), e que esta por sua vez foi superior à transmitida pelos estratos arbóreo-arbustivo (EAa) e arbustivo (Ea).

3.2.2 Radiação solar global (G)

A percentagem de radiação solar global (G) interceptada (Quadro 3.2.2) em situação de coberto natural (INT_{SC}) foi sempre inferior à interceptada em situação de coberto artificial (INT_{RS}), sendo de realçar o diferencial de 30 pontos percentuais observado em Dezembro.

Quadro 3.2.2 Valores médios ($Mj\ m^{-2}\ dia^{-1}$) da radiação global acumulada incidente (G) e transmitida, através da rede de sombra (RS) e da copa de azinheira, na zona mais interna (SC), bem como da fracção de G (%) interceptada pela rede de sombra (INT_{RS}) e pela copa da azinheira (INT_{SC}), durante os meses de Março, Junho, Setembro e Dezembro de 2001.

	G	RS	INT_{RS}	SC	INT_{SC}
Março	15,42 _a (4,43)	3,90 _b (1,13)	74,73	4,98 _c (0,81)	61,33
Junho	28,69 _a (2,77)	7,29 _b (0,95)	74,57	8,79 _c (0,26)	65,74
Setembro	14,58 _a (4,86)	3,05 _b (1,27)	79,64	4,57 _c (1,24)	63,78
Dezembro	7,43 _a (2,67)	1,05 _b (0,33)	85,60	2,56 _c (0,35)	55,38

Letras diferentes na mesma linha correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo Teste *H* de Kruskal-Wallis.

Em conformidade com os valores de intercepção observados, a radiação global incidente acumulada (Quadro 3.2.2) foi sempre significativamente superior à radiação acumulada no sob coberto da azinheira (SC) e nas áreas sujeitas a sombreamento artificial (RS). Os valores de radiação acumulada no sob coberto foram, por sua vez, sempre significativamente superiores aos determinados para as áreas com rede de sombra. As diferenças entre os valores de G acumulada incidente e os valores de G acumulada sob sombreamento (SC e RS), foram menos acentuadas do que as determinadas para a PAR. Constatou-se ainda que os valores da razão entre a G incidente e a G medida sob a copa de

Q. rotundifolia pouco variaram para os quatro meses apresentados ($G/SC \approx 3$), enquanto os valores da razão entre a G incidente e a G medida sob rede de sombra (G/RS) variaram entre 3,90 em Junho e 7,08 em Dezembro. Consequentemente, a razão entre a radiação medida no sob coberto e sob a rede de sombra (SC/RS) também não foi uniforme, variando entre 1,21 em Junho e 2,44 em Dezembro.

As diferenças observadas entre o sob coberto e as áreas sombreadas artificialmente, quanto à radiação solar global transmitida acumulada e à fracção interceptada, serão atribuíveis a uma maior transmissão de radiação através da copa da árvore comparativamente à rede de sombra, facilmente explicável pela menor homogeneidade de cobertura evidenciada pela estrutura do coberto natural. Por sua vez, as variações observadas nas áreas do sob coberto entre os diferentes meses, estarão relacionadas com a variação na densidade foliar da copa da azinheira e com altura do sol (Breshears *et al.*, 1997; Ong *et al.*, 2000), enquanto nas áreas sombreadas artificialmente as variações observadas apenas estarão relacionadas com a altura do sol.

Os valores médios horários da radiação solar global incidente (G) atingiram o seu máximo no mês de Junho e o mínimo no mês de Dezembro, tendo os meses de Março e Setembro um comportamento bastante semelhante entre si. Padrão semelhante foi observado na radiação medida no sob coberto de *Q. rotundifolia* (Figura 3.2.3).

Diferentemente do observado para a PAR, a radiação global sob coberto não foi sempre significativamente inferior àquela medida fora da acção da copa, ao longo do dia. Os intervalos horários durante os quais a radiação incidente foi significativamente superior à radiação medida no sob coberto variaram para cada um dos meses apresentados, bem como para cada um dos dois sensores utilizados sob a copa de *Q. rotundifolia*. A radiação sob coberto, medida pelo sensor SC2, foi significativamente inferior à incidente no intervalo das 8 às 20 horas em Junho, e no intervalo das 9 às 16 horas em Dezembro, meses em que tal intervalo apresentou, respectivamente, a sua duração máxima e mínima. Quando se determinaram as diferenças significativas utilizando os valores da radiação sob coberto medida pelo sensor SC1, o intervalo horário em que a radiação incidente foi superior, apresentou menos 3 horas em Março, e menos 1 hora em Junho, Setembro e Dezembro. Uma explicação para a variação observada entre os valores apresentados pelos sensores usados no sob coberto, residirá do facto destes terem sido instalados em diferentes quadrantes da área sob a acção da copa. O sensor SC1 foi instalado no quadrante NE e numa posição mais interna relativamente ao limite da projecção vertical da copa, enquanto o sensor SC2 foi instalado no quadrante NW e numa posição mais próxima do limite da projecção vertical da copa. Por outro lado a copa da árvore apresenta naturalmente uma

estrutura irregular, facultando a ocorrência de picos e concavidades no padrão da radiação a diferentes horas do percurso diário.

Todavia, o padrão de variação horária da radiação global sob coberto (Figura 3.2.3) foi muito semelhante entre os dois sensores (SC1 e SC2), pois à excepção de Junho, em que nos intervalos das 8 às 11 e das 15 às 20 horas os valores de radiação de SC2 foram significativamente superiores aos de SC1, apenas pontualmente se observaram diferenças significativas entre eles.

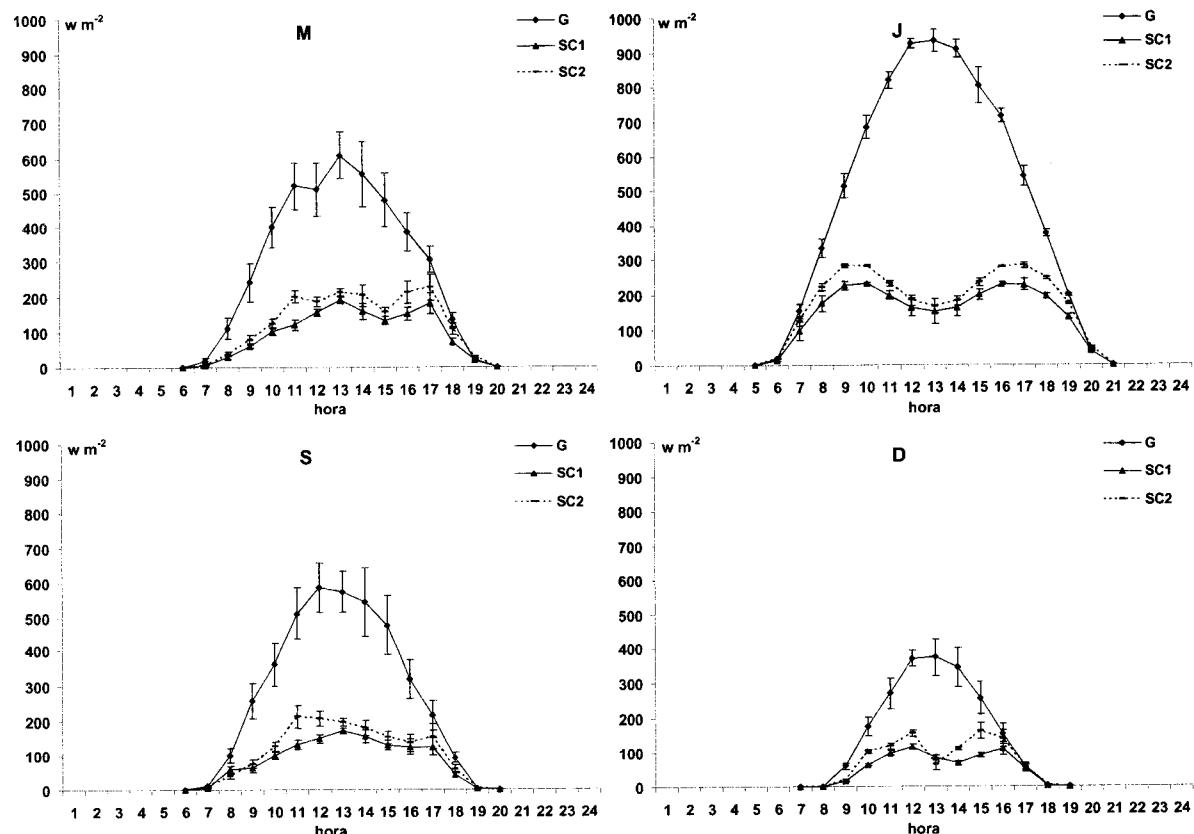


Figura 3.2.3 Valores médios horários da radiação solar incidente (G) e transmitida através da copa de azinheira, na zona mais interna (SC1) e na zona mais externa (SC2), durante uma semana de Março, uma semana de Junho, uma semana de Setembro e uma semana de Dezembro de 2001.

Tal como para a PAR as diferenças encontradas na variação horária da radiação global incidente e a transmitida através da copa de *Quercus rotundifolia* estão de acordo com o observado por outros autores em *Acacia tortilis* (Belsky *et al.*, 1989), em *Pinus edulis* e *Juniperus monosperma* (Breshears *et al.*, 1997), em *Grevillea robusta*. (Ong *et al.*, 2000) e em *Acacia saligna*. (Zhao *et al.*, 2003). As diferenças observadas nos padrões da radiação sob coberto, estarão relacionados com a heterogeneidade natural da estrutura da copa da azinheira (Breshears *et al.*, 1997; Ong *et al.*, 2000) além de que a variação sazonal na densidade foliar apresentada pela copa de *Q. rotundifolia* terá repercussões na quantidade

de radiação que atingirá o sob coberto em diferentes alturas do ano, tal como é referido por (Belsky *et al.*, 1989) para a *Acacia tortilis*.

Os valores de G obtidos em situação de sombreamento artificial (cf. 2.2.5.1) apresentaram um padrão mais regular (Figura 3.2.4) do que o observado no sob coberto, reflectindo assim uma homogeneidade da cobertura que não se verificou através da copa da azinheira.

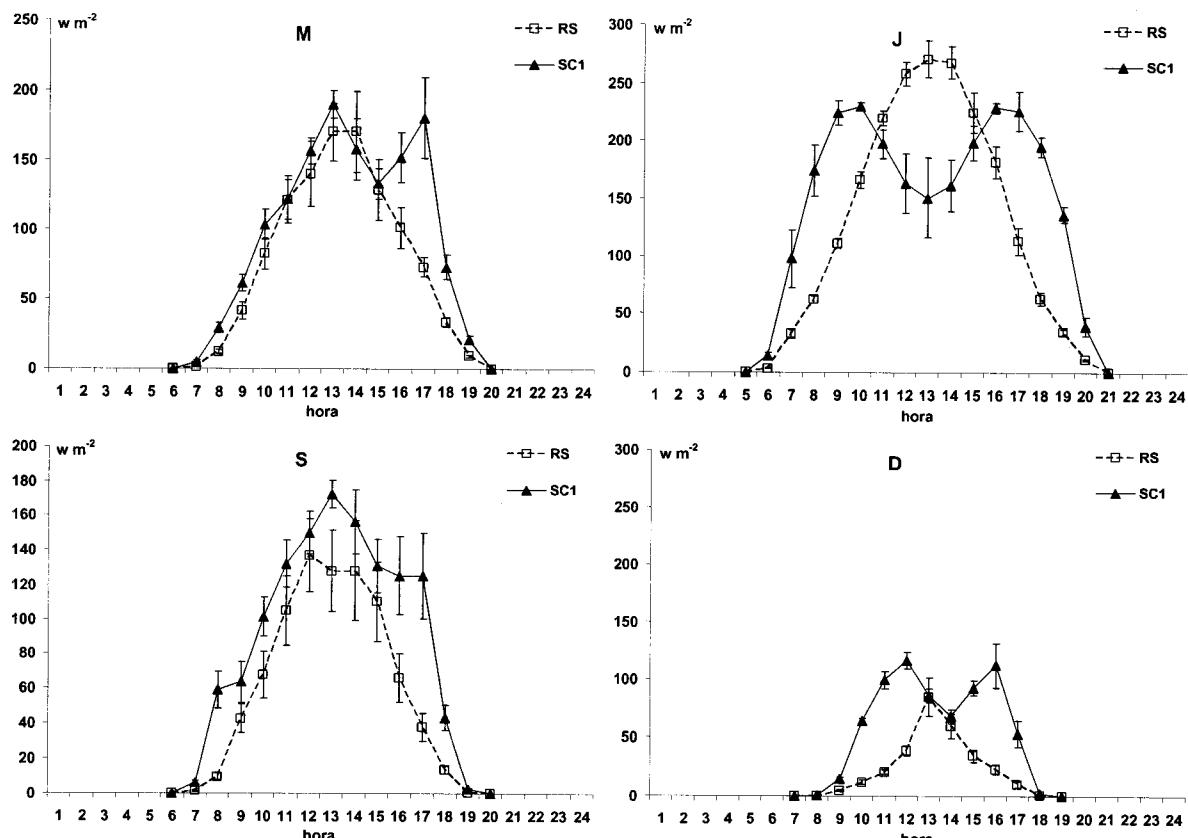


Figura 3.2.4 Valores médios horários da radiação solar global transmitida através da rede de sombra (RS) e da copa da azinheira, na zona mais interna (SC1), durante uma semana de Março, uma de Junho, uma de Setembro e uma de Dezembro de 2001.

Este padrão está de acordo com observações efectuadas igualmente com rede de sombra, com diferentes percentagens de intercepção da radiação, em sistemas agroflorestais baseados em *Grevillea robusta*. (Ong *et al.*, 2000). A radiação global com sombreamento artificial apenas apresentou valores significativamente superiores aos observados no sob coberto durante o mês de Junho, e para o período das 12 às 14 horas, enquanto fora desse período ou nos restantes meses, ou não se observaram diferenças, ou os valores de radiação foram inferiores. O pico observado no sombreamento artificial durante Junho terá resultado duma menor intercepção de G pela rede de sombra,

comparativamente com a copa da azinheira, no período em que o Sol se posicionou mais próximo da vertical.

3.2.3 Temperatura do solo

A temperatura média trimestral no solo do coberto arbóreo-arbustivo (CAaS e CAaN), para qualquer das profundidades consideradas, foi sempre significativamente inferior à dos outros cobertos, em qualquer dos trimestres (Quadros 3.2.3 a 3.2.6). Comparando o quadrante Sul (CAaS) com o quadrante Norte (CAaN), verificou-se que a temperatura do solo neste último foi quase sempre significativamente inferior à do primeiro durante o primeiro e o último trimestres, mas superior no terceiro trimestre, embora de modo significativo apenas para as profundidades 5 a 20 cm.

No 1º trimestre, o tipo de coberto do solo em que se observaram valores de temperatura do solo significativamente mais elevados qualquer que fosse a profundidade considerada, foi o coberto herbáceo sujeito a sombreamento artificial (CHR) (Quadro 3.2.3). As temperaturas do solo observadas nas áreas com coberto arbustivo (CM) e com coberto arbóreo-herbáceo (CAH) apenas diferiram entre si nas profundidades 5 e 20 cm, tendo sido entanto significativamente inferiores às observadas às profundidades de 2,5 a 20 cm das restantes áreas com coberto herbáceo (CH e CHR).

Quadro 3.2.3 Valores médios da temperatura no horizonte orgânico (H.O.), à superfície do solo (SUP) e a 2,5, 5, 10 e 20 cm de profundidade, com coberto arbóreo-arbustivo (CAaS e CAaN), arbustivo (CM), arbóreo-herbáceo (CAH), herbáceo (CH), e herbáceo com sombreamento artificial (CHR), durante o 1º trimestre de 2001.

	CAaN	CAaS	CM	CAH	CH	CHR
O.H.	5,57 ^a (2,00)	6,64 ^b (1,97)	-	-	-	-
SUP	5,96 ^a (1,18)	6,79 ^b (1,43)	11,24 ^c (3,94)	-	11,52 ^c (4,41)	12,33 ^d (3,02)
2,5 cm	5,85 ^a (1,21)	6,91 ^b (1,07)	11,06 ^c (2,50)	11,20 ^c (2,70)	11,73 ^d (3,33)	12,69 ^e (2,54)
5 cm	5,97 ^a (1,10)	7,10 ^b (0,98)	10,86 ^c (2,27)	11,33 ^d (2,36)	11,82 ^e (3,17)	12,70 ^f (2,41)
10 cm	6,17 ^a (0,98)	7,15 ^b (0,92)	11,46 ^c (2,14)	11,45 ^c (1,90)	11,96 ^d (2,78)	12,80 ^e (2,21)
20 cm	6,40 ^a (0,86)	7,35 ^b (0,83)	11,64 ^c (1,52)	11,72 ^d (1,51)	12,02 ^e (2,33)	12,85 ^f (1,94)

Letras diferentes na mesma linha correspondem a diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo Teste *H* de Kruskal-Wallis.

Nos 2º e 3º trimestres (Quadros 3.2.4 e 3.2.5) a temperatura do solo foi significativamente mais elevada nas áreas exclusivamente com coberto de herbáceas (CH), em todas as profundidades consideradas.

A temperatura do solo nas áreas com coberto arbustivo (CM) foi significativamente superior às observadas nas áreas com coberto arbóreo-herbáceo (CAH), embora no 2º trimestre, apenas à profundidade de 2,5 e 10 cm. Tal como no 1º trimestre, as temperaturas médias do solo observadas nas áreas com coberto arbustivo (CM) e com coberto arbóreo-herbáceo (CAH), foram significativamente inferiores às observadas às profundidades de 2,5 a 20 cm das restantes áreas com coberto herbáceo (CH e CHR).

Quadro 3.2.4 Valores médios da temperatura no horizonte orgânico (H.O.), à superfície do solo (SUP) e a 2,5, 5, 10 e 20 cm de profundidade, com coberto arbóreo-arbustivo (CAaN e CAaS), arbustivo (CM), arbóreo-herbáceo (CAH), herbáceo (CH), e herbáceo com sombreamento artificial (CHR), durante o 2º trimestre de 2001.

	CAaN	CAaS	CM	CAH	CH	CHR
O.H.	11,35 ^a (5,29)	10,67 ^a (3,54)	-	-	-	-
SUP	10,44 ^a (3,25)	10,52 ^a (3,26)	22,11 ^b (11,23)	-	22,63 ^c (11,09)	20,16 ^b (7,36)
2,5 cm	10,20 ^a (2,95)	10,45 ^b (2,70)	19,84 ^c (6,49)	18,11 ^d (5,30)	21,40 ^e (5,94)	20,21 ^f (5,63)
5 cm	10,22 ^a (2,78)	10,24 ^a (2,35)	18,29 ^b (5,53)	17,88 ^b (4,72)	21,39 ^c (5,71)	20,02 ^d (4,98)
10 cm	10,12 ^a (2,58)	10,16 ^a (2,25)	20,07 ^b (5,58)	17,52 ^c (4,14)	21,20 ^d (5,11)	20,05 ^e (4,68)
20 cm	10,01 ^a (2,45)	10,00 ^a (2,01)	17,83 ^b (5,13)	17,29 ^b (3,55)	20,54 ^d (4,52)	19,99 ^e (4,38)

Letras diferentes na mesma linha correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo Teste *H* de Kruskal-Wallis.

No 4º trimestre (Quadro 3.2.6) e contrariamente ao observado nos restantes trimestres, a temperatura média do solo das áreas com coberto herbáceo não apresentou diferenças significativas entre as áreas sem (CH) e com sombreamento artificial (CHR). Dos 2,5 aos 20 cm de profundidade, os valores de temperatura do solo mais baixas foram observados nas áreas com coberto arbóreo-herbáceo (CAH), tendo sido significativamente inferiores às temperaturas observadas nas áreas de herbáceas a com e sem sombreamento artificial (CH e CHR). Nas áreas com coberto arbustivo (CM) observaram-se igualmente valores de temperatura do solo superiores aos observados nas áreas com coberto arbóreo-herbáceo (CAH), embora de forma significativa apenas à profundidade de 2,5 e de 20 cm.

Quadro 3.2.5 Valores médios da temperatura no horizonte orgânico (H.O.), à superfície do solo (SUP) e a 2,5, 5, 10 e 20 cm de profundidade, com coberto arbóreo-arbustivo (CAaN e CAaS), arbustivo (CM), arbóreo-herbáceo (CAH), herbáceo (CH), e herbáceo com sombreamento artificial (CHR), durante o 3º trimestre de 2001.

	CAaN	CAaS	CM	CAH	CH	CHR
O.H.	16,27 ^a (4,30)	15,66 ^a (2,46)	-	-	-	-
SUP	15,43 ^a (2,03)	14,49 ^a (2,44)	28,15 ^b (11,66)	-	29,09 ^c (11,73)	27,53 ^d (7,37)
2,5 cm	15,10 ^a (1,74)	15,08 ^a (1,55)	27,09 ^b (5,05)	25,18 ^c (4,39)	28,76 ^d (5,05)	27,75 ^e (4,74)
5 cm	15,02 ^a (1,46)	14,66 ^b (1,26)	27,05 ^c (4,57)	24,84 ^d (3,95)	28,72 ^e (4,85)	27,65 ^f (3,73)
10 cm	14,86 ^a (1,33)	14,58 ^b (1,24)	26,52 ^c (3,95)	24,30 ^d (2,88)	28,34 ^e (3,49)	27,53 ^f (2,95)
20 cm	14,77 ^a (1,28)	14,38 ^b (1,18)	25,95 ^c (2,39)	23,96 ^d (2,37)	27,54 ^e (2,54)	27,32 ^f (2,34)

Letras diferentes na mesma linha correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo Teste H de Kruskal-Wallis.

Quadro 3.2.6 Valores médios da temperatura no horizonte orgânico (H.O.), à superfície do solo (SUP) e a 2,5, 5, 10 e 20 cm de profundidade, com coberto arbóreo-arbustivo (CAaN e CAaS), arbustivo (CM), arbóreo-herbáceo (CAH), herbáceo (CH), e herbáceo com sombreamento artificial (CHR), durante o 4º trimestre de 2001.

	CAaN	CAaS	CM	CAH	CH	CHR
OH	6,97 ^a (3,43)	8,34 ^b (3,30)	-	-	-	-
SUP	7,44 ^a (3,17)	8,11 ^b (3,43)	12,14 ^c (5,30)	-	12,14 ^d (6,12)	12,41 ^c (5,27)
2,5 cm	7,42 ^a (3,17)	8,90 ^b (2,92)	13,21 ^c (4,15)	11,64 ^d (4,29)	13,32 ^e (5,12)	13,13 ^e (4,85)
5 cm	7,63 ^a (3,10)	8,99 ^b (2,93)	13,31 ^b (4,13)	11,82 ^c (3,64)	13,47 ^b (5,03)	13,39 ^b (4,68)
10 cm	7,93 ^a (2,99)	9,18 ^a (2,85)	13,46 ^b (4,07)	12,21 ^c (3,09)	13,91 ^b (4,79)	13,81 ^b (4,51)
20 cm	8,21 ^a (2,69)	9,53 ^b (2,69)	14,07 ^c (3,61)	12,95 ^d (2,71)	14,41 ^e (4,48)	14,31 ^e (4,31)

Letras diferentes na mesma linha correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo Teste H de Kruskal-Wallis.

Os valores médios trimestrais da temperatura no horizonte orgânico do sob coberto de *Quercus rotundifolia* no quadrante Sul (CAaS) foram superiores aos do quadrante Norte (CAaN) no 1º e 4º trimestres (Inverno e Outono), tendo apresentado diferenças

significativas. No 2º e 4º semestres (Primavera e Verão), verificou-se tendência inversa, não se observando diferenças significativas entre os valores médios dos dois quadrantes (Quadro 3.2.3 a 3.2.6).

Também a temperatura média horária no horizonte orgânico do sob coberto, reflectiu as variações entre os dois quadrantes inerentes ao período do ano considerado (Figura 3.2.5).

Na transição do Inverno para a Primavera (CM) a temperatura do horizonte orgânico foi significativamente superior no quadrante Sul durante o período da 20 às 8 horas, não diferindo significativamente da do quadrante Norte durante o resto do dia. Em Junho, a temperatura no horizonte orgânico durante o período da 1 às 7 horas, foi significativamente mais elevada no quadrante Sul do que no quadrante Norte, observando-se o inverso durante o período das 10 às 19 horas. No Final do Verão e princípio do Outono (S), a temperatura do horizonte orgânico durante o período das 20 às 9 horas, foi significativamente mais elevada no quadrante Sul, enquanto a temperatura no quadrante Norte apenas foi significativamente mais elevada pontualmente (13 e 15 horas). A temperatura do horizonte orgânico em Dezembro foi sempre significativamente mais elevada no quadrante Sul do que no quadrante Norte, excepto das 10 às 11 horas, em que não se observaram diferenças entre os dois quadrantes.

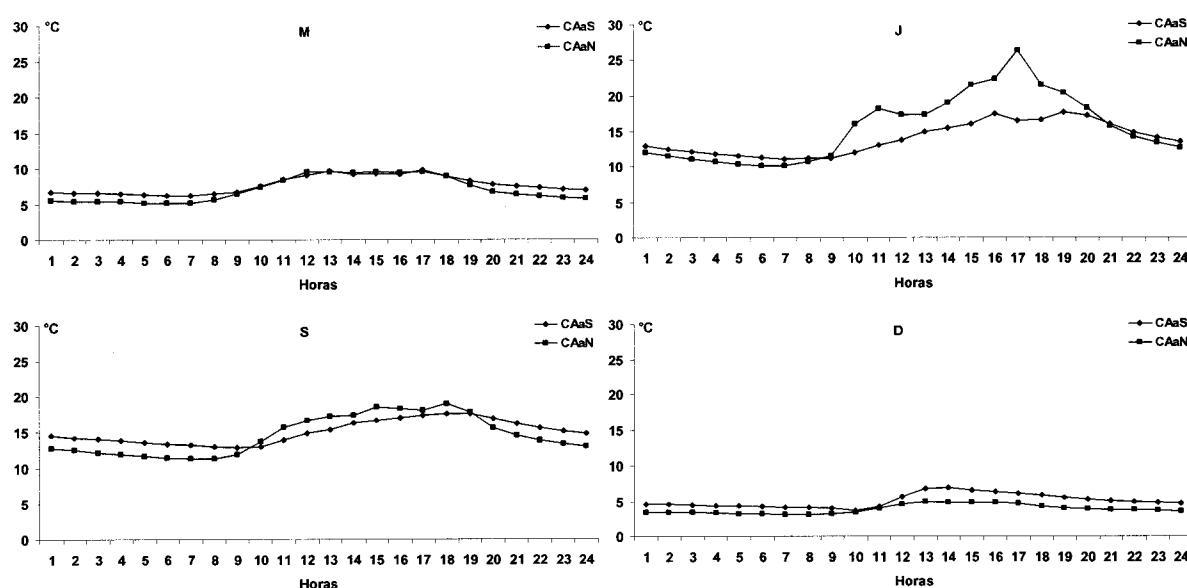


Figura 3.2.5 Valores médios horários da temperatura no horizonte orgânico do solo do sob coberto de azinheira, na orientação Sul (CAaS) e Norte (CAaN), durante uma semana de Março, uma semana de Junho, uma semana de Setembro e uma semana de Dezembro de 2001.

As diferenças observadas no padrão da temperatura média horária do horizonte orgânico entre os dois quadrantes da azinheira, para os quatro períodos referidos, terá

resultado da conjugação da altura do sol consoante a época do ano, com o facto de os sensores situados no quadrante Norte terem permanecido ao longo do ano sempre dentro do cone de sombra da árvore, ao contrário dos do quadrante Sul, conforme observado por Belsky *et al.* (1989) em *Acacia tortilis*.

Os valores médios horários da temperatura do solo à profundidade de 2,5 e 20 cm das áreas com coberto arbóreo-arbustivo (CAaN e CAaS) diferenciaram-se significativamente, para qualquer um dos quatro períodos de estudo, relativamente às restantes situações estudadas (Figuras 3.2.6 e 3.2.7). O quadrante Norte (CAaN) apresentou médias horárias significativamente diferentes das do quadrante Sul (CAaS) para todo o curso diário em Dezembro, e no intervalo das 13 às 4 horas em Junho, mas apenas à profundidade de 20 cm. Esta diferença tão acentuada entre as temperaturas verificadas no solo do coberto arbóreo-arbustivo e no solo dos restantes cobertos, poderá ser devida à presença de uma manta morta relativamente espessa, inexistente ou bastante escassa nos outros locais de medição, a qual exercerá uma acção isolante diminuindo o aquecimento do solo, principalmente nos períodos de menor precipitação (Andrade *et al.*, 1993, Breshears *et al.*, 1998; Proe *et al.* 2001). Há, ainda, a considerar a hipótese das características do solo nas áreas com coberto arbóreo-arbustivo serem de tal modo distintas das áreas com coberto de herbáceas, dada a sua distância, que impliquem diferentes eficiências no aquecimento do solo. Uma das razões para essa diferenciação poderá ser a ocorrência, durante o período húmido, de teores mais elevados de água no solo nas áreas com coberto arbóreo-arbustivo que reduzam a conductividade térmica do solo (Bauhus & Bartsch, 1995, Haworth & MCPherson, 1995), mesmo com condições de radiação à partida semelhantes como será o caso nas áreas CAaN e CAH.

O efeito do coberto arbustivo (CM), arbóreo-herbáceo (CAH), herbáceo (CH) e herbáceo sujeito a sombreamento artificial (CHR) sobre a temperatura média horária do solo à profundidade de 2,5 e 20 cm, variou entre os quatro períodos estudados (Figuras 3.2.6 e 3.2.7). Durante Março observou-se que a temperatura do solo nas áreas dos cobertos CM e CAH, embora não diferindo entre estas duas áreas, foi significativamente inferior à observada nas áreas dos cobertos CH e CHR. A temperatura nas áreas do coberto herbáceo (CH) no intervalo das 14 às 20 horas foi significativamente superior à observada no coberto herbáceo com sombreamento artificial (CHR), mas apenas à profundidade de 2,5 cm.

A diferença dos coberto arbustivo (CM) e arbóreo-herbáceo (CAH) relativamente aos cobertos herbáceos sem (CH) e com sombreamento artificial (CHR) manteve-se durante Junho, com a temperatura média horária do solo do solo a ser significativamente superior

nas áreas com coberto de herbáceas. A temperatura do solo no coberto CH foi significativamente mais elevada do que no CHR, durante o intervalo das 17 às 6 horas à profundidade de 2,5 cm, e durante o intervalo das 16 às 2 horas à profundidade de 20 cm. Nas áreas com coberto arbustivo (CM) a temperatura do solo foi significativamente superior à observada nas áreas com coberto arbóreo-herbáceo (CAH), durante o intervalo das 11 às 24 horas à profundidade de 2,5 cm, e durante as 24 horas do dia à profundidade de 20 cm (Figuras 3.2.6 e 3.2.7).

A temperatura média horária do solo em Setembro foi geralmente mais baixa nas áreas com coberto arbustivo (CM). À profundidade de 2,5 cm a temperatura do solo apresentou diferenças significativas quase exclusivamente entre o coberto arbustivo (CM) e coberto herbáceo sem (CH) e com sombreamento artificial (CHR), e neste caso restritas ao período das 8 às 13 horas. Com efeito, a temperatura média horária no coberto arbóreo herbáceo (CAH) apresentou um padrão mais próximo do observado no coberto arbustivo (CM) enquanto a temperatura nos cobertos herbáceos com e sem sombreamento artificial (CHR e CH) mostrou um padrão semelhante. À profundidade de 20 cm, a temperatura do solo nas áreas com coberto arbustivo (CM) foi significativamente mais baixa do que a observada nas restantes situações, para todo o curso diário. Os cobertos arbóreo herbáceo (CAH) e herbáceo, sem (CH) e com sombreamento artificial (CHR), não apresentaram diferenças significativas entre si (Figuras 3.2.6 e 3.2.7).

Em Dezembro observou-se que a temperatura do solo nas áreas com coberto arbustivo (CM), foi superior à das áreas com outros cobertos. À profundidade de 2,5 cm essa superioridade só não foi significativa no período das 10 às 19 horas relativamente ao coberto herbáceo (CH), e no período das 10 às 14 horas relativamente ao coberto herbáceo com sombreamento artificial (CHR). À profundidade de 20 cm a temperatura do solo nas áreas com coberto arbustivo (CM) não diferiu significativamente da temperatura nas áreas com coberto arbóreo-herbáceo (CAH), e coberto herbáceo sem (CH) e com sombreamento artificial (CHR), respectivamente durante os períodos das 8 às 16, 10 às 14 e 12 às 14 horas (Figuras 3.2.6 e 3.2.7).

As diferenças observadas entre a temperatura do solo com cobertura arbórea ou arbustiva e só com cobertura herbácea estão de acordo com o observado por outros autores em situações de cobertura análoga, quer por árvores quer por arbustos (Belsky *et al.*, 1989; Haworth & MCPherson, 1995; Breshears *et al.*, 1998; Morecroft *et al.*, 1998; Forshet *et al.*, 2001; Proe *et al.*, 2001; Koh *et al.*, 2003).

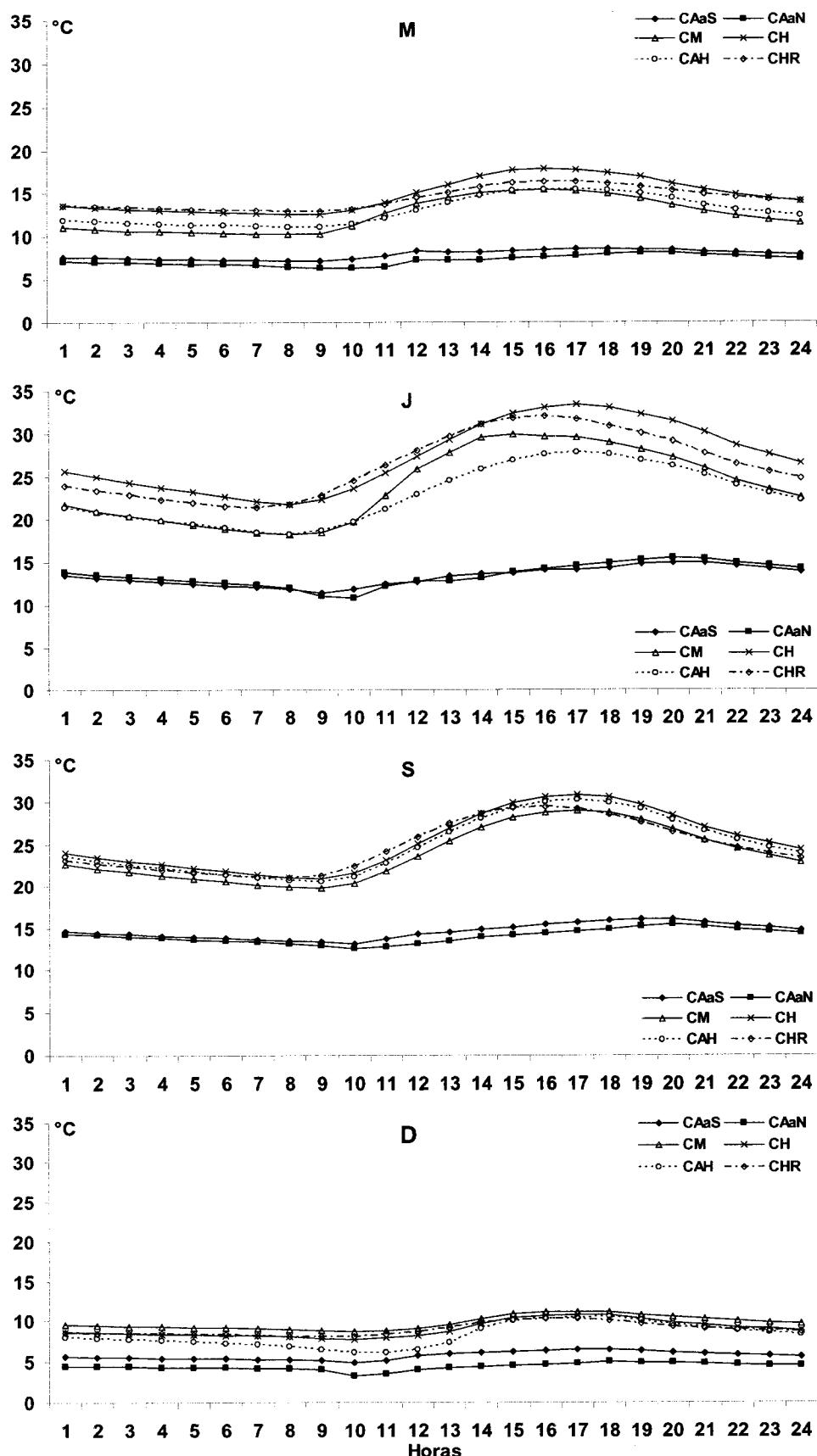


Figura 3.2.6 Valores médios horários da temperatura do solo a 2,5 cm de profundidade, com coberto arbóreo-arbustivo (CAaS e CAaN), arbustivo (CM), herbáceo (CH), arbóreo-herbáceo (CAH) e herbáceo com sombreamento artificial (CHR), durante os meses de Março, Junho, Setembro e Dezembro de 2001.

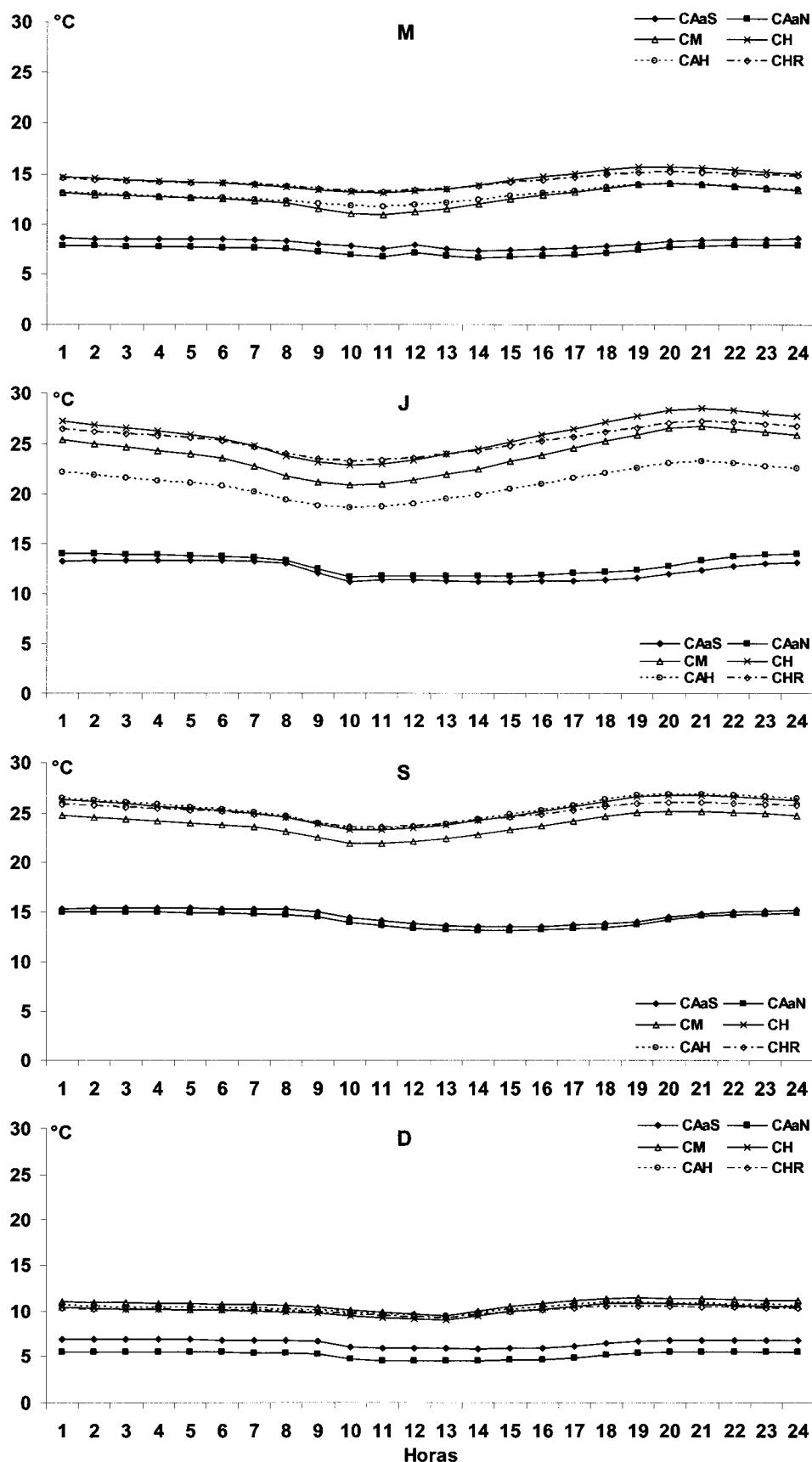


Figura 3.2.7 Valores médios horários da temperatura do solo a 20 cm de profundidade, com coberto arbóreo-arbustivo (CAaS e CAaN), arbustivo (CM), herbáceo (CH), arbóreo-herbáceo (CAH) e herbáceo com sombreamento artificial (CHR), durante os meses de Março, Junho, Setembro e Dezembro de 2001.

Dada a proximidade entre as áreas do coberto arbustivo (CM) e as áreas com coberto arbóreo-arbustivo (CAaS e CAaN), tal como em relação a estas últimas, poder-se-ia colocar a hipótese de as diferenças nas características do solo explicarem o facto de durante o mês de Dezembro as temperaturas no solo com coberto arbustivo terem sido superiores às verificadas nos restantes locais com coberto de herbáceas (CAH, CH e CHR). No entanto a possível ocorrência de teores de água no solo mais elevados em Dezembro nas áreas com coberto arbustivo ao ponto de reduzirem a conductividade térmica do solo teria como consequência uma redução nos valores da temperatura (Bauhus & Bartsch, 1995; Hawort & MCPherson, 1995).

O facto de a exposição das áreas com coberto arbustivo (CM) estar orientada a Oeste e a das áreas com coberto de herbáceas (CAH, CH e CHR) estar orientada a Norte, será talvez o factor mais relevante para justificar essas diferenças, uma vez que, considerando árvores da mesma espécie e com idênticas dimensões, a posição do declive relativamente ao tronco da árvore influencia claramente o microclima do sob coberto (Bauhus & Bartsch, 1995 e Hawort & MCPherson, 1995).

A atenuação das diferenças na variação do padrão da temperatura média horária do solo nos diferentes tipos de coberto à profundidade de 20 cm está de acordo com o observado por Andrade *et al.* (1993) em solos arenosos e argilosos sob coberto *Pinus pinaster* Ait.. Há ainda que ter em consideração que o efeito do coberto arbóreo e arbustivo nas características físicas e químicas do solo, diferenciando o sob coberto relativamente às áreas fora da acção das copas, se encontra restrito aos 5 a 10 cm logo abaixo da superfície (Nunes *et al.*, 1999; Simões, 2002).

3.2.4 Conclusões

O presente estudo caracterizou com algum pormenor as alterações exercidas pela *Quercus rotundifolia* nas condições microclimáticas existentes no sob coberto, particularmente no que se refere à radiação e à temperatura do solo. A copa da azinheira, ao interceptar a radiação incidente, deu origem a reduções na ordem dos 55% a 65 % da radiação solar global, e entre 75% a 88 % da radiação fotossinteticamente activa, relativamente à que atinge as áreas fora da acção do copado. A redução da radiação por intercepção do coberto arbustivo foi ainda mais acentuada, traduzida na redução de 90% a 95 % da PAR incidente.

A intercepção exercida pela copa da azinheira e dos arbustos não é uniforme, quer pela arquitectura da copa em si, quer pela variação do índice de área foliar ao longo do ano. Os valores de intercepção observados nas diferentes épocas do ano, ilustram bem esta

ausência de uniformidade, uma vez que, além de ser evidente o efeito da altura do sol, foi notória a maior variabilidade dos valores de intercepção apresentados pela copa da azinheira do que pela rede de sombra.

O padrão de variação da radiação média horária reflectiu igualmente a diferença na eficiência de intercepção entre sombreamento natural e artificial, tendo a divergência sido mais notória em Junho. De qualquer modo, a localização dos sensores dentro do cone de sombra e a orientação do declive relativamente ao tronco da árvore ou ao caule do arbusto, também contribuíram para a variabilidade observada

Em resultado da diminuição da quantidade de radiação que atinge o solo no sob coberto, a temperatura do solo foi de um modo geral inferior nas áreas com coberto arbóreo e/ou arbustivo relativamente às áreas não sujeitas à acção destes cobertos. O trimestre de Verão foi aquele onde se verificaram as diferenças mais elevadas nas áreas de herbáceas com e sem presença de coberto arbóreo, atingindo, às profundidades entre 2,5 e 20 cm, diferenciais próximos dos 4 °C.

As diferenças observadas na temperatura do solo entre as seis situações estudadas, para além do tipo de coberto, terão sido determinadas por três circunstâncias primordiais: a diferenciação das características do solo entre áreas sob e fora da acção da copa das árvores e arbustos; a existência de diferentes características edáficas entre as áreas com coberto arbóreo-arbustivo e as áreas com coberto herbáceo e a diferente exposição solar verificada para algumas das situações consideradas.

A aplicação de sombreamento artificial no coberto de herbáceas, contrariamente ao esperado, não provocou uma atenuação da temperatura do solo da mesma ordem de grandeza da provocada pela presença do coberto arbóreo, pois tanto a temperatura média horária como a temperatura média trimestral, não apresentaram diferenciais acentuados entre as herbáceas com e sem sombreamento artificial. Neste caso, as diferenças observadas para a temperatura média trimestral foram pouco além de 1 °C, verificando-se mesmo a inexistência de diferenças significativas no 4º trimestre.

Ficou bem evidenciado que a presença de *Q. rotundifolia* em áreas de herbáceas para além do impacto na quantidade de radiação que atinge o sob coberto, modifica o padrão da temperatura do solo, quer devido ao sombreamento, quer por alterar as características físicas e químicas do solo do sob coberto.

3.3 Efeito da copa de *Quercus rotundifolia* nas características físicas e químicas do solo

As árvores de *Quercus rotundifolia* Lam. enquanto constituintes do sistema “montado” em que, de modo análogo às formações de tipo savana, as árvores apresentam grande espaçamento entre si, interagindo localadamente com o solo e a vegetação sob-coberto, diferenciando assim as características do solo da área sob a acção da sua copa das daquela em que essa acção não se verifica. Tal diferenciação dever-se-á à acumulação de folhada no solo do sob coberto e ao retorno de nutrientes, quer devido à decomposição da folhada acumulada e das raízes senescentes da árvore, quer ainda, devido à precipitação que atravessa a copa e que escorre pelo tronco das árvores.

Estudos realizados em sistemas semelhantes (com a mesma e outras espécies) indicam que as árvores muito espaçadas podem funcionar como “armadilhas” da precipitação e dos nutrientes por ela veiculados, na dependência da acção do vento, melhorando, assim, tanto o regime hídrico (Dancette & Poulin, 1969; Joffre & Rambal, 1988) como a disponibilidade de nutrientes do solo (Attiwill & Leeper, 1987; Gauquelin *et al.*, 1992). Com efeito, Gersper & Holowaychuk (1970) encontraram uma estreita correlação entre as características do solo sob árvores e as do respectivo escorrimento ao longo do tronco, enquanto Ryan & Mcgarity (1983) verificaram uma acentuada variação das características físicas e químicas do solo com a distância ao tronco de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.

A melhoria do regime e da disponibilidade hídrica do solo é atribuída tanto à intercepção da chuva pela copa como à maior acumulação de matéria orgânica no solo sob aquela, devido à queda de folhada e à senescência das raízes finas das árvores (Joffre & Rambal, 1988). Tais aspectos sugerem que as árvores de *Q. suber* e de *Q. rotundifolia* num montado terão um papel fundamental no regime hídrico e nas características do solo sob a respectiva copa, o que poderá assumir enorme relevância para a sobrevivência deste ecossistema, sobretudo para suportar condições de eventos extremos.

Com efeito, estudos realizados em algumas das nossas áreas de montado têm demonstrado que os solos sob a copa de *Q. rotundifolia* podem apresentar maior disponibilidade de nutrientes em relação às áreas limítrofes (Baltasar *et al.*, 1983). Embora estes dados obtidos em Portugal corroborem os da literatura estrangeira, eles são escassos e pontuais, sendo necessário mais informação para melhor conhecer o funcionamento do sistema solo-árvore isolada, nas nossas condições ambientais.

De modo a caracterizar a acção do coberto arbóreo nas características físicas e químicas do solo, avaliou-se a quantidade das camadas orgânicas do solo, bem como a

quantidade de nutrientes nelas acumulados. Avaliaram-se ainda as características físicas e químicas das camadas minerais do solo, de modo a diferenciar a acção das copas de *Q. rotundifolia* no solo do sob coberto, relativamente ás áreas fora da acção deste.

Nesta secção apresentam-se e discutem-se os resultados respeitantes à massa das camadas orgânicas e quantidades de nutriente nela acumulados, à permeabilidade do solo, ao teor de humidade do mesmo durante o ano de 2000, à massa volémica aparente, às curvas de tensão de humidade, aos nutrientes do solo e à taxa de respiração do solo.

3.3.1 Camadas orgânicas e quantidade de nutrientes retidos

A massa das camadas orgânicas decresceu significativamente da proximidade do tronco ($305,56 \text{ g m}^{-2}$), para o limite da projecção vertical da copa das árvores ($131,15 \text{ g m}^{-2}$) na área vedada ao pastoreio. Na área não vedada ao pastoreio, o decréscimo foi igualmente significativo, embora com os valores a situarem-se entre $205,56$ e $94,74 \text{ g m}^{-2}$ (Figura 3.3.1).

Os valores obtidos sob as árvores da área vedada ao pastoreio, constituindo estas um povoamento com baixa densidade, não se afastam muito dos obtidos para o horizonte L, por Serrasolses & Vallejo (1999) em povoamentos com uma densidade muito mais elevada.

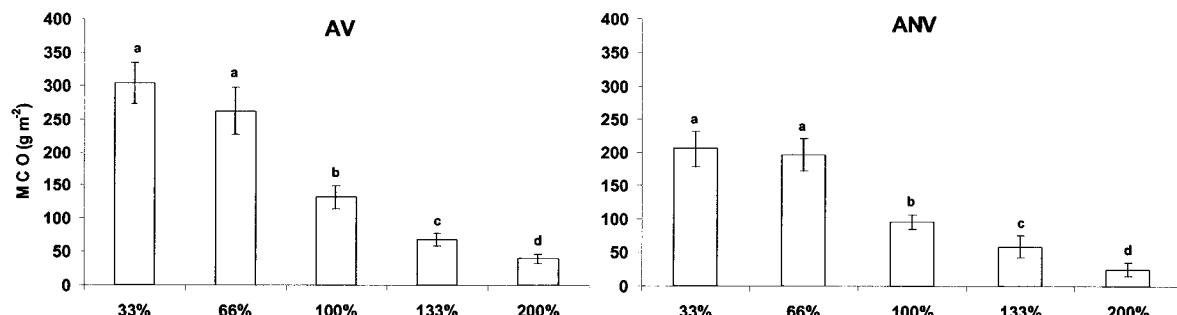


Figura 3.3.1 Valor médio da massa da camada orgânica (MCO) e colhida a 33%, 66%, 100%, 133% e 200% do raio da copa, em áreas vedadas (AV) e não vedadas (ANV) ao pastoreio, de cinco árvores isoladas. Letras diferentes na mesma série correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo teste *H* de Kruskal-Wallis.

As camadas orgânicas do solo apresentaram junto ao tronco das árvores o dobro da massa verificada para as áreas localizadas no limite da projecção vertical da copa, devendo esta diferença resultar das variações observadas no padrão da queda da folhada com a distância ao tronco das árvores (Nunes *et al.*, 1999, 2001). A redução da massa das camadas orgânicas junto ao tronco das árvores das áreas não vedadas, em relação aos das árvores das áreas vedadas, poderá dever-se à destruição parcial dessas camadas por acção do pisoteio.

As concentrações em N, P, K, Ca, Mg e Mn nas camadas orgânicas não apresentaram variação com a distância ao tronco, apenas se tendo observado, principalmente nas áreas

não vedadas, uma concentração mais elevada de alguns nutrientes, nas camadas colhidas fora do limite (200%) da projecção vertical da copa comparativamente às camadas colhidas dentro desses limite (Quadro 3.3.1). Estas diferenças poderão resultar de uma decomposição mais acelerada nas áreas do sob coberto, produto de uma actividade microbiana mais intensa, em consequência de diferenças que ocorrerão na composição e na quantidade da população microbiana, e de condições microclimáticas diferenciadas entre o sob coberto e as áreas fora da acção deste. Nas áreas não vedadas ao pastoreio, adicionalmente, ter-se-á verificado a conjugação do efeito do pisoteio com os factores mencionados.

Quadro 3.3.1 Concentração (mg g^{-1}) de N, P, K, Ca, Mg e Mn na camada orgânica do solo colhida a 33%, 66%, 100%, 133% e 200% do raio da copa, em áreas não vedadas e vedadas ao pastoreio. Os valores representam a média (desvio padrão), para n=4.

Distância	N	P	K	Ca	Mg	Mn
	mg g^{-1}					
Áreas vedadas						
33%	11,91 $\pm 0,63$	0,72 $\pm 0,05$	1,80 $\pm 0,79$	17,34 $\pm 2,97$	2,15 $\pm 0,25$	0,67 $\pm 0,14$
66%	10,51 $\pm 1,16$	0,59 $\pm 0,09$	2,11 $\pm 0,38$	15,52 $\pm 0,47$	1,84 $\pm 0,25$	0,54 $\pm 0,10$
100%	11,26 $\pm 1,55$	0,65 $\pm 0,14$	2,37 $\pm 0,60$	16,15 $\pm 0,81$	2,29 $\pm 0,57$	0,63 $\pm 0,18$
133%	10,98 $\pm 2,77$	0,66 $\pm 0,16$	2,19 $\pm 0,82$	13,99 $\pm 4,93$	2,28 $\pm 0,43$	0,55 $\pm 0,20$
200%	11,58 $\pm 0,98$	0,67 $\pm 0,06$	2,51 $\pm 0,42$	15,65 $\pm 1,58$	2,37 $\pm 0,30$	0,53 $\pm 0,05$
Áreas não vedadas						
33%	9,94 $\pm 1,30$	0,51 $\pm 0,10$	1,81 $\pm 0,45$	16,12 $\pm 2,58$	1,93 $\pm 0,62$	0,35 $\pm 0,12$
66%	9,47 $\pm 1,11$	0,49 $\pm 0,07$	2,09 $\pm 0,59$	16,69 $\pm 3,84$	1,73 $\pm 0,37$	0,30 $\pm 0,11$
100%	11,12 $\pm 1,23$	0,63 $\pm 0,13$	2,42 $\pm 1,30$	15,23 $\pm 1,03$	2,60 $\pm 0,83$	0,47 $\pm 0,17$
133%	10,27 $\pm 1,31$	0,51 $\pm 0,05$	2,48 $\pm 1,66$	14,41 $\pm 0,98$	1,84 $\pm 0,26$	0,35 $\pm 0,08$
200%	12,02 $\pm 0,70$	0,65 $\pm 0,05$	2,21 $\pm 0,51$	13,92 $\pm 0,56$	2,17 $\pm 0,33$	0,40 $\pm 0,12$

Letras diferentes na mesma série correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo teste *H* de Kruskal-Wallis.

A quantidade de N acumulada nas camadas orgânicas variou, nas áreas vedadas, de 4698,91 g m^{-2} , junto ao tronco, a 2084,97 g m^{-2} , no limite da projecção da copa; nas áreas fora da projecção vertical da copa e na distância correspondente ao dobro do raio da copa essa quantidade foi de 564,82 g m^{-2} (Figura 3.3.2). Nas áreas não vedadas essas quantidades foram as seguintes; 2336,33, 1353,11 e 345,52 g m^{-2} . Padrão semelhante foi observado para os outros nutrientes considerados. Sublinha-se ainda, a elevada quantidade de Ca acumulada

nas camadas orgânicas, o que se justifica pelo facto de ser o elemento que é devolvido ao solo em maior quantidade, por intermédio da folhada (Nunes et al., 2001).

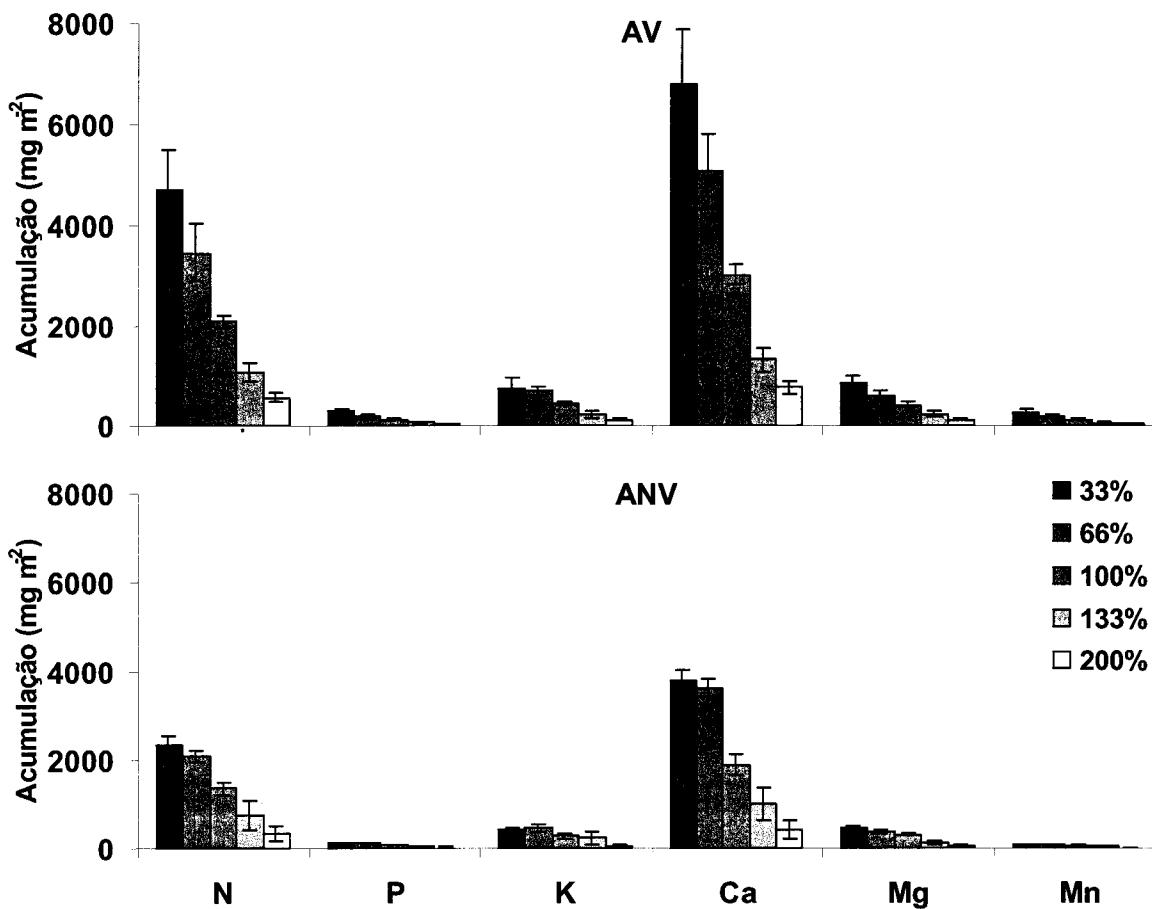


Figura 3.3.2 Valores médios (e respectivo erro padrão; n=4) das quantidades de N, P, K, Ca, Mg e Mn, retidas na camada orgânica do solo, recolhida a 33%, 66%, 100%, 133% e 200% do raio da copa, em áreas vedadas (AV) e não vedadas (ANV) ao pastoreio.

As diferenças observadas para a massa das camadas orgânicas com a distância ao tronco, determinaram que a quantidade de nutrientes acumulados se correlacionasse inversamente com essa distância, ou seja, as quantidades foram mais elevadas quanto menor a distância ao tronco. As quantidades observadas à distância mais próxima do tronco, correspondente a 33 % do raio da copa, comparativamente às observadas na distância correspondente a 200% desse raio, foram, consoante o nutriente, 5 a 7 vezes superiores, nas áreas vedadas ao pastoreio, e 2 a 5 vezes superiores nas áreas não vedadas. A quantidade de N acumulado nas camadas orgânicas foi inferior em cerca de metade, no caso das áreas não vedadas, à determinada por Serrasolses & Vallejo (1999) em povoamentos de *Q. rotundifolia* pouco espaçados na região da Catalunha, Noroeste de Espanha. Esta desproporção, poderá reflectir as diferenças existentes entre o tipo de

povoamentos em estudo, assim como entre o impacto devido ao pastoreio, o qual é bastante forte no local do presente estudo.

3.3.2 Permeabilidade do solo

Os valores da condutividade hidráulica saturada (K_s) determinados à superfície do solo foram superiores aos determinados a 15 cm de profundidade, quer para as áreas sob a acção da copa de *Q. rotundifolia*, quer para as áreas fora da acção desta (Quadro 3.3.2). Este padrão está de acordo com o referido por Brady & Weill (1999) e por Castanheira (1998), dado que será à profundidade 0-5 cm que a porosidade será mais elevada, como se depreende dos valores da massa volúmica aparente (cf. 3.3.4); a estrutura do solo será mais favorável em resultado dos teores de C mais elevados nessa camada de solo (cf. 3.3.6); e ainda por ser nesta camada que se concentram os poros resultantes quer da actividade da microfauna do solo, quer da senescência das raízes, que favorecem os fluxos de água.

Comparando as áreas sob e fora da acção da copa de *Q. rotundifolia* verificou-se que os valores de K_s à superfície, foram inferiores nas áreas sob coberto relativamente às áreas fora deste, invertendo-se este padrão para a profundidade 15 cm.

Quadro 3.3.2 Valores da condutividade hidráulica saturada (K_s) medida à superfície do solo e a 15 cm de profundidade, sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*. Os valores representam a média (desvio padrão) para $n=10$.

Profundidade	K_s (cm h^{-1})	
	SC	FC
Superfície	67,12a \pm 64,00	290,97a \pm 606,66
15 cm	3,16a \pm 3,27	1,47a \pm 0,96

Letras diferentes na mesma linha correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo teste *U* de Mann-Whitney.

As diferenças à superfície poderão resultar de um efeito de *repelência* da água devido à acção das camadas orgânicas no sob coberto, reduzindo assim o fluxo à superfície (Doerr, 2000; Scott, 2000; Bucsko *et al.*, 2004). À profundidade de 15 cm, a ocorrência de porosidade mais elevada e de uma estrutura de solo melhorada por acção do teor de C, nas áreas do sob coberto, bem como uma maior acção de raízes grossas nestas áreas do que nas áreas fora da copa (Archer *et al.*, 2002), poderão explicar as diferenças observadas.

A acção dos bioporos, responsáveis por uma elevada variabilidade entre amostragens (Brady & Weill, 1996), pode ser constatada através das frequências relativas da K_s

(Figura 3.3.3) que são mais homogéneas à superfície nas áreas do sob coberto, e a 15 cm de profundidade nas áreas fora da acção da copa da azinheira.

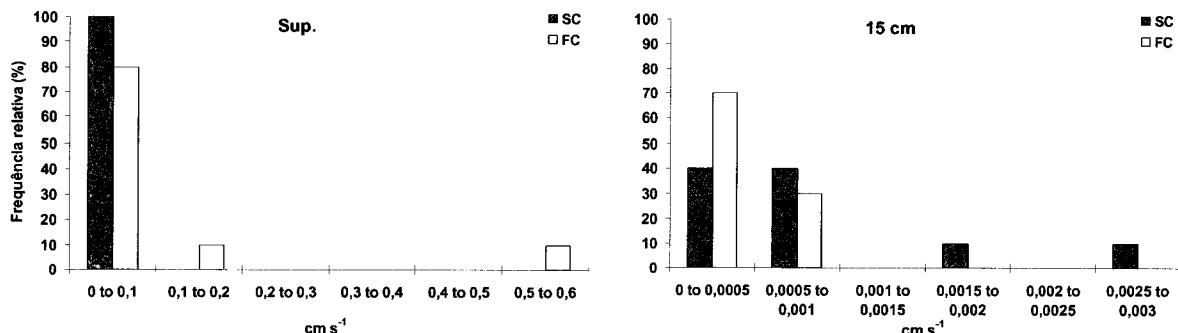


Figura 3.3.3 Frequências relativas (%) da condutividade hidráulica saturada (cm s^{-1}) medida à superfície do solo e a 15 cm de profundidade, sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*.

Dos resultados obtidos pode-se considerar que o risco de erosão do solo, quer nas áreas do sob coberto quer nas áreas fora da acção deste, é bastante reduzido, uma vez que se obteve à superfície valores de K_s superiores a 600 mm h^{-1} , os quais se reduzem drasticamente para cerca de 30 e 15 mm h^{-1} respectivamente, no sob coberto e fora deste. Esta redução nos valores de K_s observada na profundidade de 15 cm poderá indicar uma saturação em água no solo quando ocorrerem eventos pluviométricos extremos.

3.3.3 Teor de humidade do solo

Durante o primeiro semestre de 2000, o teor de água do solo foi superior nas áreas fora da acção da copa das árvores do que naquelas sob a acção desta, tanto a 6 como a 25 cm de profundidade de. No entanto os respectivos valores apenas apresentaram diferenças significativas no dia 14 de Janeiro, na camada superficial, e durante os primeiros oito dias de Fevereiro nas duas profundidades consideradas. O padrão de variação foi em geral semelhante nas áreas sob e fora do coberto arbóreo (Figura 3.3.4), verificando-se, porém, uma resposta mais acentuada aos eventos de precipitação nas áreas sob coberto do que nas outras. O teor de humidade nas áreas de coberto, a 25 cm de profundidade, foi em geral superior ao determinado na superfície do solo, não sendo nítida a sua afectação pelos eventos de precipitação.

Durante o mês de Abril verificou-se uma acentuada variação do teor de humidade, tanto a 6 como a 25 cm de profundidade, devida à elevada precipitação distribuída por vários eventos (Figura 2.1.4); no dia 13 de Abril o teor de humidade foi significativamente mais elevado na área fora da influência da copa do que no sob coberto. Nos meses de Maio

e Junho verificou-se um forte dessecamento do solo, o qual foi mais acentuado a 6 cm de profundidade (Figura 3.3.4). Além disso, o teor de humidade naquela camada passou a ser mais elevado sob do que fora da influência da copa. Esta inversão não se observou a 25 cm de profundidade, tendo-se verificado nos finais de Junho teores de humidade significativamente mais elevados nas áreas fora da influência do coberto do que nas outras.

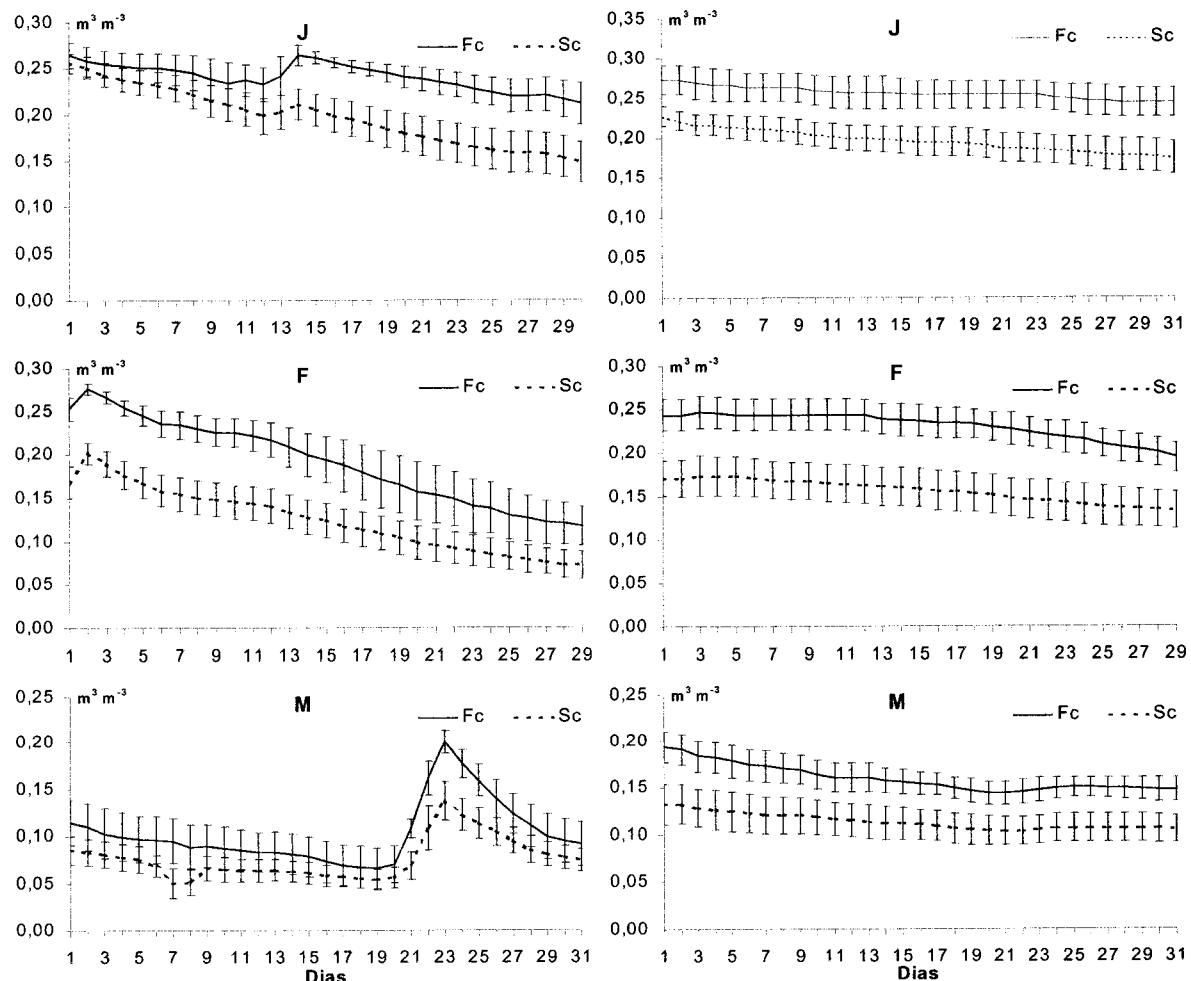


Figura 3.3.4 Valores médios diários do teor em água no solo ($m^3 m^{-3}$), a 6 cm (1^a coluna) e a 25 cm de profundidade (2^a coluna), sob (Sc) e fora (Fc) da influência da copa das árvores, no primeiro trimestre de 2000.

Os valores mínimos do teor de humidade observados na camada superficial do solo, durante o trimestre de Verão de 2000, foram da mesma ordem de grandeza nas duas áreas de estudo consideradas (Figura 3.3.5). Isto indica que o coberto arbóreo não influenciou o teor de água mínimo no solo, mas apenas a taxa de perda de humidade do mesmo durante a Primavera e início do Verão (Figura 3.3.4). Nas áreas fora da influência da copa foi notória a resposta à ocorrência de eventos pluviométricos nos dias 26 de Julho e 20, 21 e 29 e 30 de Setembro.

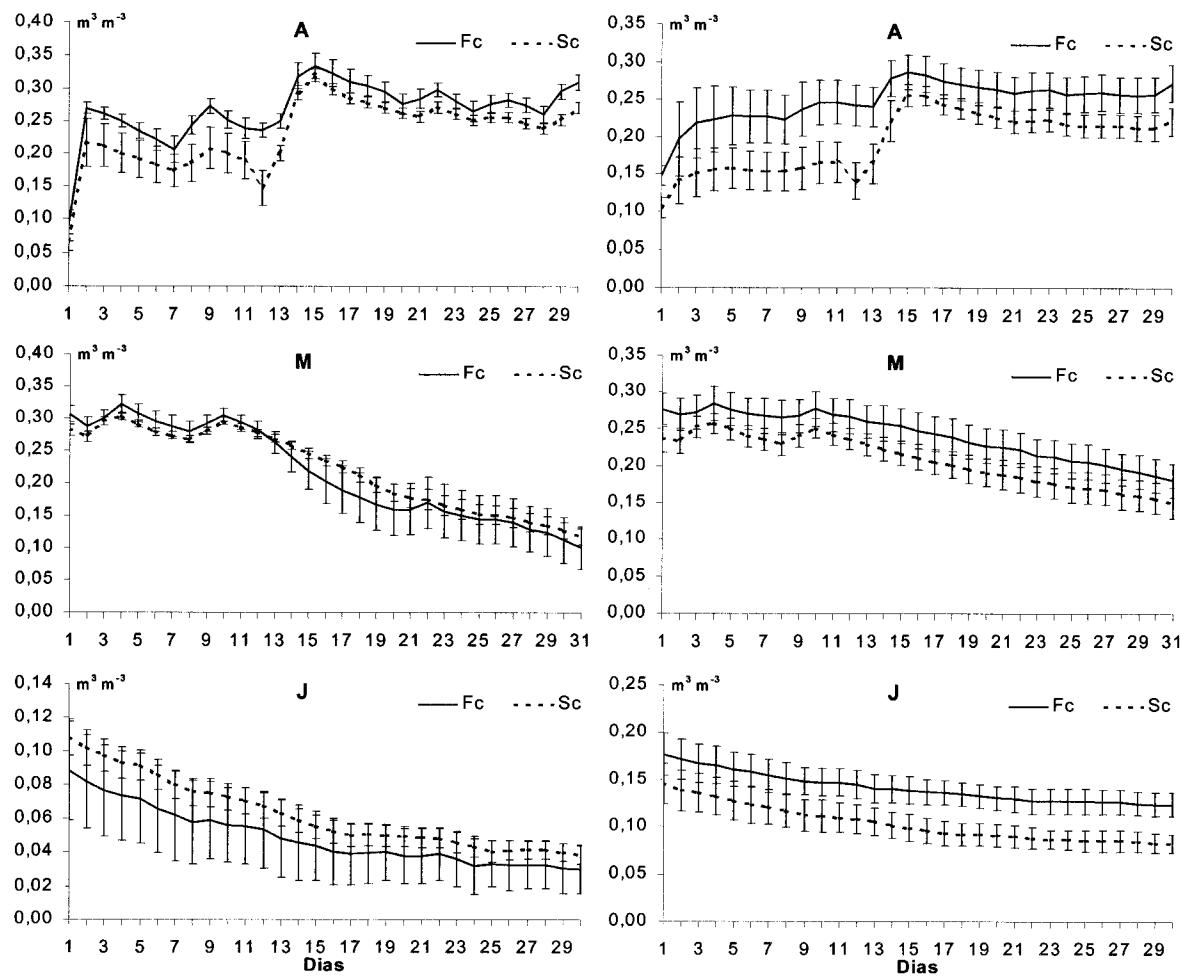


Figura 3.3.5 Valores médios diários do teor em água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), a 6 cm (1^a coluna) e a 25 cm de profundidade (2^a coluna), sob (Sc) e fora (Fc) da influência da copa das árvores, no segundo trimestre de 2000.

À profundidade de 25 cm, o teor em água do solo foi em geral superior ao verificado na superficial, chegando a atingir o dobro nas áreas fora da copa das árvores (Figura 3.3.5); os teores determinados nessa área foram significativamente maiores do que os determinados, durante os meses de Julho e Agosto, bem como nos primeiros dez dias de Setembro, nas áreas sob coberto arbóreo.

Durante o humedecimento do solo, após o período de estio, observou-se uma maior rapidez na resposta aos eventos de precipitação nas áreas fora da copa das árvores (Figura 3.3.6), com o teor nestas áreas a ser significativamente superior, durante o período de 6 a 25 de Outubro e de 8 a 23 de Novembro. Porém, o teor de água a 6 cm de profundidade atingiu valores semelhantes para as duas áreas no final do mês de Novembro, princípios do mês de Dezembro, após copiosas e continuadas precipitações (Figura 2.1.4). No entanto, para a profundidade de 25 cm os teores em água no solo no final desse

período, eram superiores nas áreas fora da copa das árvores em relação às áreas sob a influência destas.

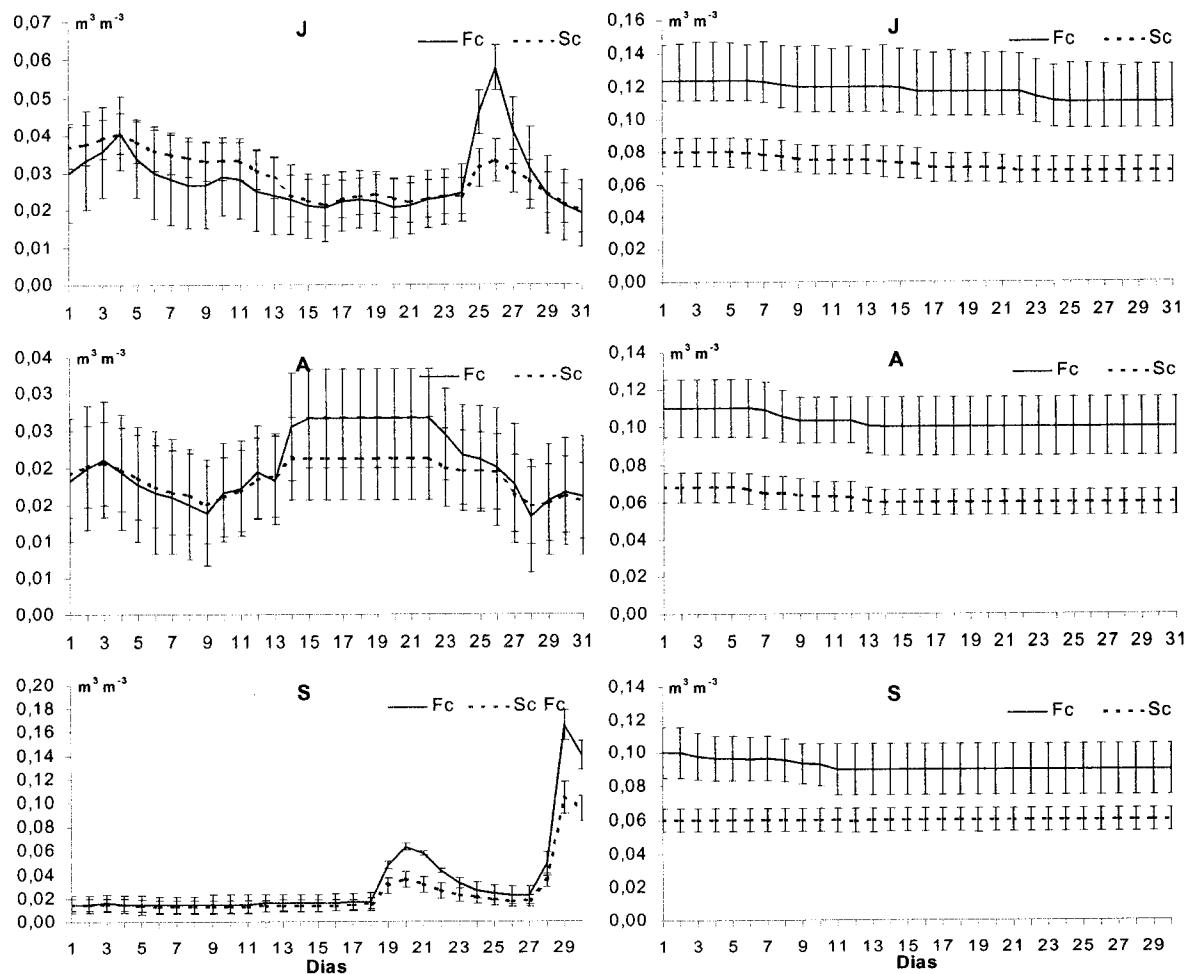


Figura 3.3.6 Valores médios diários do teor em água no solo ($m^3 m^{-3}$), a 6 cm (1^a coluna) e a 25 cm de profundidade (2^a coluna), sob (Sc) e fora (Fc) da influência da copa das árvores, no terceiro trimestre de 2000.

Ao contrário do que seria de esperar, não se observaram durante o período de estudo, teores de humidade superiores no solo sob a copa de *Q. rotundifolia*, aos do solo das áreas fora da acção desta. A árvore não teve um efeito significativo nos teores de humidade do solo, durante a maior parte de 2000.

Os nossos resultados não corroboram, quer os observados para a mesma espécie em Espanha (Joffre & Rambal, 1988, 1993), quer os determinados para espécies diferentes mas em sistemas semelhantes do tipo savana (Belsky, 1994, Belsky *et al.*, 1989, 1993, Jackson *et al.*, 1990), por não se ter verificado, durante a maior parte do ano, teores de humidade mais elevados nas áreas sob a copa do que nas outras. No entanto, Belsky & Amundson (1998) referem que o teor em água do solo sob a copa das árvores, tanto pode ser superior como inferior ao apresentado pelas áreas fora da acção desta. O padrão encontrado no

presente estudo pode ser explicado pelo facto de, no caso vertente, as árvores apresentarem uma perda por intercepção da ordem dos 27,1 % da precipitação bruta por unidade de área efectiva de coberto (David, 2000). Os teores de humidade mais elevados sob coberto arbóreo, durante a fase de secagem, indicam que o período de água disponível se dilata, aumentando o período de utilização de água pelas plantas. Tendência semelhante foi observada para freixos espaçados, no Nordeste Transmontano (Pereira, 2004).

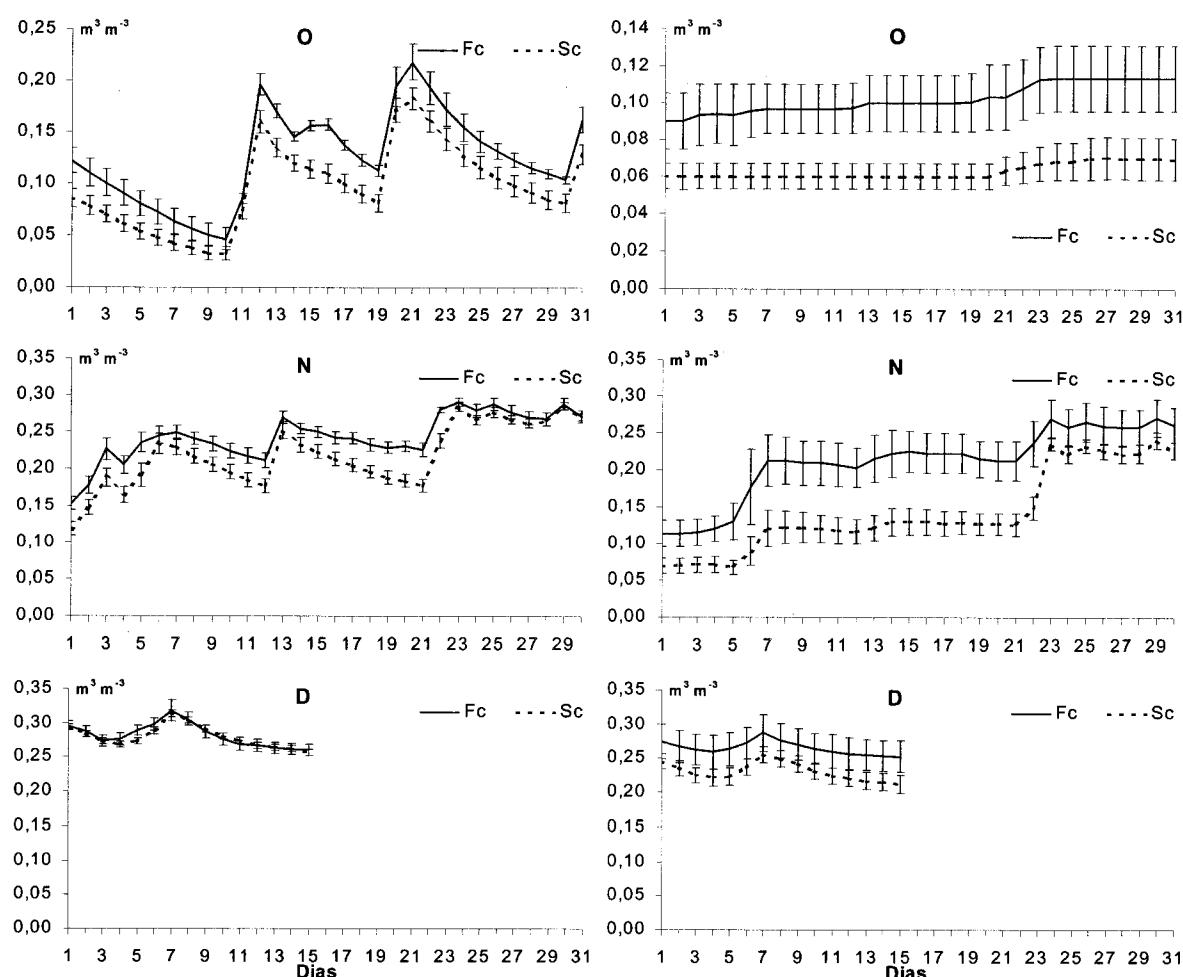


Figura 3.3.7 Valores médios diários do teor em água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), a 6 cm (1^a coluna) e a 25 cm de profundidade (2^a coluna), sob (Sc) e fora (Fc) da influência da copa das árvores, no quarto trimestre de 2000.

3.3.4 Massa volémica aparente do solo

A massa volémica aparente do solo, na camada 0-5 cm, variou, nas áreas não vedadas ao pastoreio, de $1,16 \text{ g cm}^{-3}$, na proximidade do tronco, para $1,50 \text{ g cm}^{-3}$ nas áreas fora da acção da copa; nas áreas vedadas ao pastoreio, de $1,12 \text{ g cm}^{-3}$ para $1,39 \text{ g cm}^{-3}$. A maior diferenciação verificou-se de uma forma significativa, entre os valores determinados

às distâncias do tronco correspondente a 33 e 66 % do raio da copa e os situados fora desta (Figura 3.3.8). Para a camada 5-10 cm a variação situou-se entre 1,44 e 1,54 g cm⁻³, nas áreas não vedadas, e entre 1,51 e 1,59 g cm⁻³, nas áreas vedadas, embora para esta camada, a maior diferenciação se tenha verificado de uma forma significativa, entre os valores determinados à distância do tronco correspondente a 33 % do raio da copa e os situados fora desta. Na camada 10-20 cm a variação verificada não apresentou um carácter significativo.

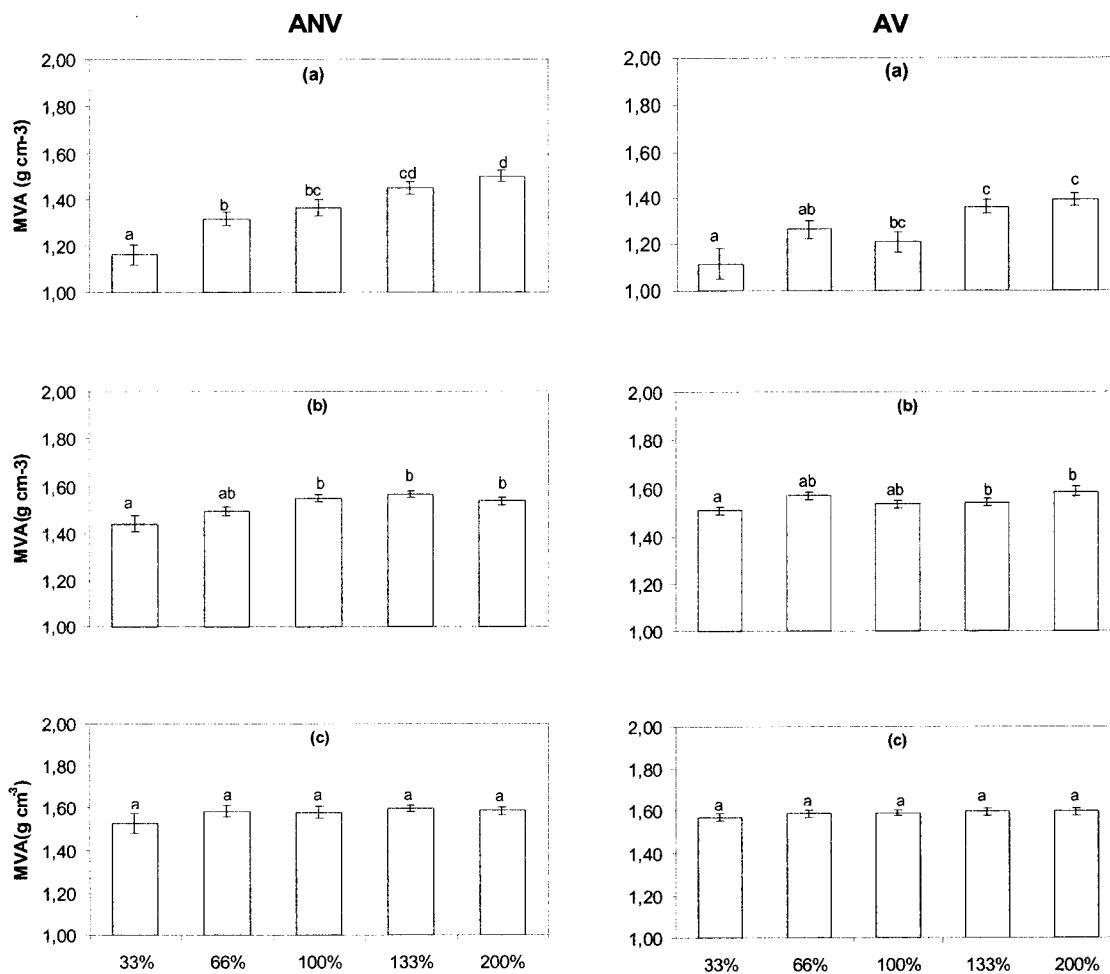


Figura 3.3.8 Valor médio da massa volúmica aparente (MVA) do solo, colhido a 0-5 (a), a 5-10 (b) e a 10-20 cm (c) de profundidade, e a 33%, 66%, 100%, 133% e 200% do raio da copa de *Q. rotundifolia*, em áreas não vedadas (ANV) e vedadas (AV) ao pastoreio, de cinco árvores isoladas. Letras diferentes na mesma série correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo teste *H* de Kruskal-Wallis.

A massa volúmica aparente das camadas 0-5 e 5-10 cm de profundidade diminuiu com a proximidade do tronco, em resultado certamente, da acção da camada orgânica existente devido à presença da árvore; do teor em C total mais elevado nessas camadas

minerais do solo, com consequências na melhoria da estrutura do solo; e provavelmente ainda de uma densidade radical mais elevada. Esta acção esbate-se com o aumento da profundidade, pois não se encontraram variações significativas da massa volúmica aparente com a distância ao tronco para a camada 10-20 cm. A maior homogeneidade constatada nas áreas não vedadas, para a camada 0-5 cm, poderá ter resultado da acção do pastoreio na distribuição do horizonte L sobre o horizonte mineral, e na compactação deste.

O contraste entre os valores da massa volúmica aparente do solo das áreas sob influência directa da copa das árvores e os das áreas sem essa influência, para a mesma camada, corrobora as variações observadas por Joffre & Rambal (1988) entre áreas sob e fora da acção da copa de *Q. rotundifolia* e *Q. suber*, muito espaçadas no Sul de Espanha. O padrão de variação da massa volúmica aparente, observado nas áreas vedadas (AV) e não vedadas (ANV), com a distância ao tronco, corrobora igualmente as observações de Dahlgren et al., (1997, 2003) em estudos na Califórnia, comparando as características do solo sob e fora da acção de *Quercus douglasii* H. & A., bem como o efeito da remoção das árvores, em áreas sujeitas e protegidas da acção do pastoreio.

3.3.5 Curvas de tensão de humidade

Os teores de humidade do solo (pF 1,0, 1,8, 2,0, 2,54, 3,0, 3,5 e 4,2) correspondentes a 0-5 cm de profundidade foram sempre superiores nas áreas sob coberto de *Q. rotundifolia* do que nas áreas fora deste, não se tendo no entanto observado diferenças significativas para qualquer uma das unidades de pF utilizadas (Quadro 3.3.3).

Para as restantes profundidades os teores em humidade do solo das áreas fora do sob coberto foram quase sempre superior ao determinado para as áreas dentro deste, não se verificando qualquer diferenciação estatisticamente significativa.

De modo análogo, a capacidade de água utilizável (CAU), resultante da diferença entre os valores a pF 2,0 e pF 4,2, apenas foi superior nas áreas do sob coberto na camada superficial do solo (0-5 cm).

Da observação das curvas de tensão de humidade (Figura 3.3.9) constata-se que elas pouco diferem entre áreas sob e fora da acção do coberto arbóreo, verificando-se um acréscimo 10 pontos percentuais no teor de humidade a pF 1,0 e de 3 e 2 pontos percentuais a pF 2,54 e 3,0 nas áreas do sob coberto, relativamente às áreas fora da copa, para a profundidade 0-5 cm.

Nas profundidades 5-10 e 10-20 cm além de não se observarem diferenças notórias entre as curvas de pF das duas áreas de amostragem, foi também evidente uma diminuição

dos teores de humidade do solo relativamente aos determinados na profundidade 0-5 cm, para qualquer uma das áreas consideradas.

Quadro 3.3.3 Teores de humidade (pF 1,0, 1,8, 2,0, 2,54, 3,0, 3,5 e 4,2) e capacidade de água utilizável (CAU) do solo ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) determinadas aos 0-5, 5-10 e 10-15 cm de profundidade, sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*. Os valores representam as médias (desvio padrão), para $n=10$.

	pF							CAU
	1,0	1,8	2,0	2,54	3,0	3,5	4,2	
0-5 cm								
SC	41,55 $\pm 17,03$	20,70 $\pm 4,23$	17,76 $\pm 3,18$	13,14 $\pm 5,51$	12,36 $\pm 3,88$	9,45 $\pm 1,62$	8,07 $\pm 1,26$	9,69 $\pm 3,78$
FC	30,06 $\pm 2,67$	18,26 $\pm 3,61$	15,81 $\pm 1,73$	9,79 $\pm 1,61$	9,32 $\pm 1,43$	8,35 $\pm 1,04$	7,24 $\pm 0,81$	8,58 $\pm 1,52$
5-10 cm								
SC	24,57 $\pm 3,48$	13,90 $\pm 1,56$	12,20 $\pm 1,70$	7,95 $\pm 2,01$	7,62 $\pm 1,13$	6,31 $\pm 0,63$	6,19 $\pm 0,70$	6,01 $\pm 2,08$
FC	24,19 $\pm 1,45$	14,97 $\pm 1,19$	13,11 $\pm 0,98$	7,99 $\pm 0,81$	7,84 $\pm 1,68$	6,93 $\pm 0,92$	6,13 $\pm 0,85$	6,98 $\pm 1,24$
10-15 cm								
SC	23,22 $\pm 2,61$	14,43 $\pm 2,02$	12,29 $\pm 1,70$	7,74 $\pm 1,83$	7,44 $\pm 0,97$	6,62 $\pm 0,85$	6,30 $\pm 0,77$	5,99 $\pm 2,17$
FC	24,04 $\pm 2,74$	14,51 $\pm 0,98$	13,04 $\pm 1,06$	8,20 $\pm 1,69$	7,86 $\pm 0,87$	7,02 $\pm 0,83$	6,44 $\pm 1,49$	6,60 $\pm 1,56$

Médias na mesma coluna com * são significativamente diferentes ($p<0,05$) pelo teste *t* de Student.

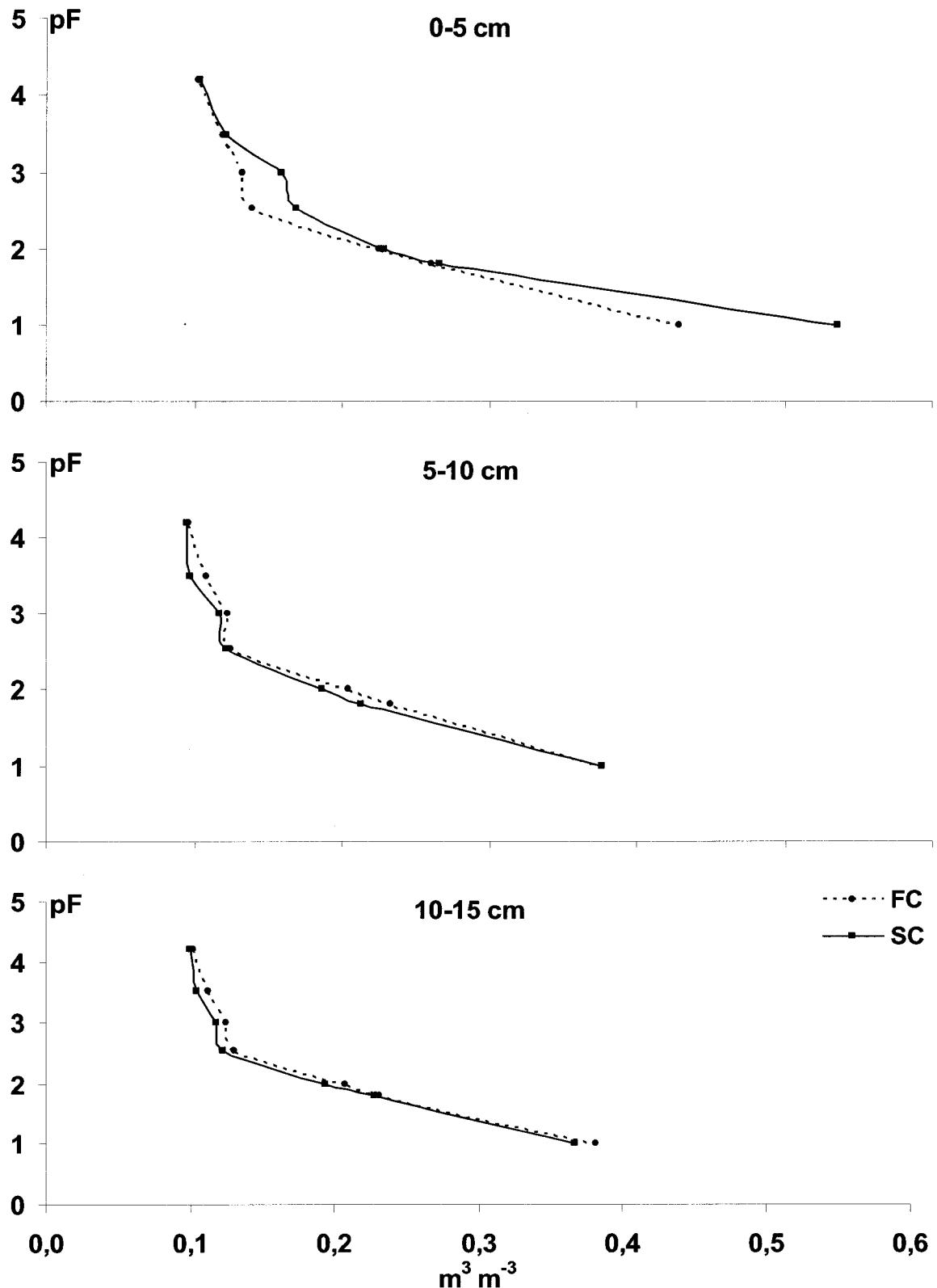


Figura 3.3.9 Curvas de tensão de humidade (pF 1,0, 1,8, 2,0, 2,54, 3,0, 3,5 e 4,2) determinadas aos 0-5, 5-10 e 10-15 cm de profundidade, sob (SC) e fora (FC) da accção da copa de *Q. rotundifolia*. Os valores representam as médias, para n=10

3.3.6 Características químicas do solo

No presente estudo observou-se uma forte tendência para as características químicas da camada superficial do solo (0-5 cm) se diferenciarem significativamente em função da distância ao tronco da árvore (Quadro 3.3.4), bem como com a presença ou ausência da respectiva copa.

Os teores de C e de N totais, bem como de C humificado e não humificado, foram mais elevados nas áreas sob a copa das árvores do que nas áreas exteriores a ela. Além disso, esses teores decresceram de áreas mais internas da copa (33%) para aquelas correspondentes ao limite da projecção vertical da copa das árvores (100%).

A razão C:N, quer nas áreas vedadas quer nas não vedadas ao pastoreio, ostentou os valores mais elevados à distância mais próxima do tronco (33%), enquanto nas restantes distâncias os valores observados apresentaram uma clara homogeneidade entre estas, não diferindo no entanto, de forma significativa, dos observados mais próximos do tronco.

Os teores de Ca e de K de troca decresceram das áreas mais próximas do tronco (33%) para aquelas correspondentes ao limite da projecção vertical da copa (100%), não tendo, porém, os teores correspondentes a duas distâncias consecutivas sido significativamente diferentes. Os teores destas bases de troca foram significativamente menores nas áreas fora da influência da copa do que naquelas sob a sua projecção vertical. Padrão semelhante foi verificado para o teor de K extraível, cuja diferenciação foi ainda mais acentuada, dado o teor determinado para as áreas correspondentes ao limite da projecção das copas (100%) ter sido significativamente menor do que o determinado naquelas mais próximas do tronco (33%), nas áreas sujeitas ao pastoreio.

O teor de P extraível, tal como o verificado para o Ca e o K de troca, atingiu o valor mais elevado à distância correspondente a 33% do raio da copa, o qual decresceu para o limite da projecção vertical da copa (100%), e deste para as áreas fora da influência directa desta. Porém, os valores encontrados embora fossem significativamente diferentes, não expressaram, de forma inequívoca, um padrão de variação definido com a distância ao tronco da árvore, mas apenas uma diferenciação entre áreas sob e fora da acção da copa da árvore.

Os teores de Mg de troca nas áreas vedadas ao pastoreio, ao contrário do referido anteriormente, apresentaram valores significativamente mais elevados nas distâncias correspondentes a 33% do raio da copa e ao limite da projecção vertical da copa (100%), do que os observados na distância correspondentes a 66% do raio da copa, os quais, por sua vez, não diferiram dos valores observados nas áreas fora do coberto (133 e 200%). Já nas áreas não vedadas ao pastoreio, os teores foram significativamente mais elevados nas áreas mais próximas do tronco (33 e 66%) do que naquelas correspondentes ao limite da

projecção vertical da copa (100%), e do que nas áreas fora da influência directa desta. Os teores de Na, porém, embora apresentando pequena variação, não variaram significativamente com a distância ao tronco das árvores.

Os valores de pH (em H₂O e KCl) nas áreas vedadas ao pastoreio atingiram o valor mínimo nas áreas mais internas do sob coberto (33 e 66%), manifestando, a partir daí, um acréscimo até às áreas correspondentes ao limite da projecção vertical da copa (100%). Os valores de pH em KCl decresceram destas áreas (100%) para as áreas mais distantes do tronco da árvore, enquanto os valores de pH em H₂O, consoante as áreas, ou mantiveram o acréscimo (133%) ou mantiveram-se inalterados (200%). Apenas o pH em H₂O apresentou diferenças significativas, entre os valores das áreas mais próximas do tronco e os das restantes. Nas áreas não vedadas ao pastoreio o padrão observado foi inverso do anterior.

A disponibilidade em nutrientes da camada superficial do solo das áreas fora do limite da projecção da copa das árvores, foi em geral inferior à verificada sob a copa das árvores. Para os diferentes nutrientes avaliados, essa diferença variou quase sempre entre 1,5 vezes no limite da projecção vertical da copa (100%) a 2 vezes na proximidade do tronco (33%).

À profundidade de 5-10 cm a acção da árvore na diferenciação das características químicas em função da distância ao tronco atenuou-se expressivamente (Quadro 3.3.5). No entanto o K de troca e extraível, bem como o N total apresentaram em ambas as áreas de estudo diferenças significativas nos respectivos teores, entre o sob coberto as áreas mais distantes do tronco (200%). O Mg de troca e o C não humificado nas áreas vedadas, bem como, o Ca de troca e o C total nas áreas não vedadas apresentaram diferenças significativas entre os teores nas áreas correspondentes à distância mais próxima do tronco (33%) e os teores observados nas áreas fora da acção do coberto. Os valores do pH em H₂O, embora sem apresentarem diferenças significativas, mantiveram o padrão de variação com o aumento da distância ao tronco da árvore, observado à profundidade de 0-5 cm.

A diminuição da importância da acção da árvore na distinção das diferentes áreas quanto às características químicas do solo, foi ainda mais notória à profundidade de 10-20 cm, uma vez que apenas o K, quer de troca, quer extraível, apresentou uma distinção marcada entre os teores observados no sob coberto e os observados fora deste, e de forma significativa unicamente nas áreas vedadas (Quadro 3.3.6).

Quadro 3.3.4 Valores médios do pH e da concentração das bases de troca, do teor de K e P extraíveis, de N orgânico total, e de C orgânico total (T), humificado (HU) e não humificado (NHU) determinados a partir de amostras ($n=4$) cohidas à profundidade de 0-5 cm do solo, a 33%, 66%, 100% (limite da projeção copa), 133% e 200% do raio da copa, em áreas vedadas e não vedadas ao pastoreio. Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste H de Kruskal-Wallis.

Dist.	pH			Bases de Troca			Extraíveis			Carboneo				
	H_2O	KCl	Ca	Mg	Na	K	P	K	N	T	NHU	HU	C/N	
AV													
33%	5,07a ±0,09	4,27 ±0,18		3,36a ±1,07	0,86a ±0,23	0,17 ±0,03	0,21a ±0,04	0,09a ±0,03	0,77a ±0,18	1,38a ±0,25	20,15 ±3,84	12,25a ±3,72	7,90 ±1,28	14,14 ±0,77
66%	5,12a ±0,14	4,25 ±0,23		2,71ab ±1,18	0,58b ±0,09	0,15 ±0,05	0,20a ±0,03	0,07a ±0,02	0,78a ±0,04	1,21ab ±0,28	16,50 ±2,91	8,28ab ±2,43	8,23 ±1,11	12,83 ±0,82
100%	5,30b ±0,13	4,41 ±0,17		2,76a ±0,26	0,77a ±0,10	0,16 ±0,01	0,19a ±0,01	0,07a ±0,01	0,78a ±0,07	1,11b ±0,10	15,40 ±0,88	6,88b ±0,73	8,53 ±0,24	12,83 ±0,93
133%	5,33b ±0,06	4,34 ±0,07		2,22bc ±0,11	0,58b ±0,05	0,15 ±0,02	0,15b ±0,01	0,04b ±0,01	0,60b ±0,03	0,90c ±0,08	12,10 ±0,44	4,48c ±0,52	7,63 ±0,75	12,73 ±0,95
200%	5,30b ±0,06	4,14 ±0,18		1,97c ±0,15	0,56b ±0,08	0,14 ±0,02	0,15b ±0,02	0,05b ±0,01	0,57b ±0,11	0,76c ±0,09	10,25 ±0,64	3,90c ±0,60	6,35 ±0,85	11,97 ±0,29
ANV													
33%	5,23 ±0,16	4,51a ±0,18		3,90a ±0,44	0,98a ±0,05	0,18 ±0,02	0,30a ±0,04	0,11a ±0,01	1,13a ±0,20	1,60a ±0,13	22,68a ±2,74	12,00a ±2,04	10,68 ±2,30	14,58 ±0,36
66%	5,28 ±0,14	4,50a ±0,20		3,01b ±0,49	1,18a ±0,54	0,18 ±0,01	0,28ab ±0,06	0,10a ±0,01	0,98ab ±0,17	1,26b ±0,18	16,05ab ±2,14	7,33b ±1,56	8,73 ±1,49	13,79 ±0,90
100%	5,29 ±0,12	4,39b ±0,14		2,49b ±0,17	0,61b ±0,26	0,16 ±0,01	0,22b ±0,03	0,07b ±0,01	0,77b ±0,11	1,08b ±0,10	13,85b ±2,25	5,60b ±1,32	8,25 ±2,62	13,88 ±0,55
133%	5,24 ±0,16	4,14bc ±0,16		2,02c ±0,14	0,62b ±0,08	0,17 ±0,02	0,14c ±0,02	0,07b ±0,01	0,53c ±0,07	0,85c ±0,12	10,78c ±1,96	3,43c ±0,68	7,35 ±1,35	13,59 ±1,21
200%	5,24 ±0,08	4,16c ±0,12		1,80c ±0,24	0,61b ±0,17	0,17 ±0,01	0,13c ±0,03	0,05c ±0,00	0,49c ±0,17	0,82c ±0,07	9,85c ±0,98	3,10c ±0,29	6,75 ±0,79	13,55 ±1,35

Quadro 3.3.5 Valores médios do pH e da concentração das bases de troca, do teor de K e P extraíveis, de N orgânico total, e de C orgânico total (T), humificado (H) e não humificado (NH) determinados a partir de amostras ($n=4$) colhidas à profundidade de 5-10 cm do solo, a 33%, 66%, 100% (limite da projeção copa), 133% e 200% do raio da copa, em áreas vedadas e não vedadas ao pastoreio. Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste *H* de Kruskal-Wallis.

Dist.	pH						Bases de Troca						Extraíveis						Carbono						
	H ₂ O	KCl	Ca	Mg	Na	K	P	K	N	T	NHU	HU	C/N cmol _c kg ⁻¹ g kg ⁻¹	AV g kg ⁻¹								
33%	4,88 ± 0,15	3,79 ± 0,11	1,17 ± 0,14	0,54a ± 0,06	0,16 ± 0,01	0,10a ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,46a ± 0,14	0,67a ± 0,08	8,23 ± 1,77	2,43a ± 0,42	5,80 ± 1,43	12,43 ± 1,08												
66%	5,03 ± 0,16	3,89 ± 0,15	1,24 ± 0,35	0,45b ± 0,02	0,17 ± 0,02	0,10ab ± 0,02	0,03 ± 0,01	0,38a ± 0,05	0,59ab ± 0,03	6,85 ± 0,21	2,05ab ± 0,37	4,80 ± 0,35	12,17 ± 0,43												
100%	5,07 ± 0,09	3,92 ± 0,09	1,37 ± 0,23	0,48ab ± 0,03	0,15 ± 0,02	0,10ab ± 0,01	0,03 ± 0,00	0,43a ± 0,09	0,60ab ± 0,02	8,08 ± 1,14	2,33a ± 0,38	5,75 ± 0,90	11,83 ± 2,87												
133%	5,15 ± 0,06	3,90 ± 0,09	1,50 ± 0,11	0,46b ± 0,04	0,17 ± 0,03	0,09bc ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,34ab ± 0,07	0,59b ± 0,06	7,45 ± 1,24	1,65b ± 0,31	5,80 ± 1,06	12,10 ± 1,45												
200%	5,12 ± 0,10	3,92 ± 0,18	1,35 ± 0,14	0,41b ± 0,06	0,15 ± 0,02	0,07c ± 0,00	0,03 ± 0,01	0,28b ± 0,04	0,52c ± 0,01	6,93 ± 0,64	1,60b ± 0,33	5,33 ± 0,47	11,63 ± 1,88												
ANV																									
33%	5,12 ± 0,16	4,06 ± 0,16	2,02a ± 0,31	1,01 ± 0,55	0,17 ± 0,03	0,18a ± 0,03	0,05 ± 0,02	0,65a ± 0,07	0,80a ± 0,12	9,85a ± 1,03	3,50 ± 1,54	6,35 ± 1,10	12,19 ± 1,36												
66%	5,22 ± 0,15	4,15 ± 0,15	1,75a ± 0,15	0,64 ± 0,08	0,17 ± 0,02	0,18a ± 0,05	0,04 ± 0,00	0,65ab ± 0,13	0,66ab ± 0,02	7,98ab ± 0,41	2,08 ± 0,49	5,90 ± 0,84	11,57 ± 0,26												
100%	5,25 ± 0,07	4,11 ± 0,10	2,00a ± 0,51	0,69 ± 0,11	0,18 ± 0,02	0,15ab ± 0,07	0,05 ± 0,01	0,47bc ± 0,11	0,60bc ± 0,09	7,05b ± 1,94	1,65 ± 0,31	5,40 ± 1,73	13,43 ± 1,52												
133%	5,20 ± 0,07	3,98 ± 0,10	1,67ab ± 0,37	0,68 ± 0,29	0,16 ± 0,02	0,11b ± 0,02	0,03 ± 0,01	0,43c ± 0,15	0,51c ± 0,06	6,20b ± 1,36	1,50 ± 0,45	4,70 ± 0,92	12,68 ± 0,98												
200%	5,16 ± 0,05	3,94 ± 0,09	1,43b ± 0,10	0,51 ± 0,09	0,16 ± 0,03	0,11b ± 0,04	0,04 ± 0,00	0,38c ± 0,11	0,56bc ± 0,08	6,58b ± 1,63	1,95 ± 1,24	4,63 ± 1,01	13,37 ± 1,06												

Quadro 3.3.6 Valores médios do pH e da concentração das bases de troca, do teor de K e P extraíveis, de N orgânico total, e de C orgânico total (T), humificado (H) e não humificado (NH) determinados a partir de amostras ($n=4$) colhidas à profundidade de 10-20 cm do solo, a 33%, 66%, 100% (limite da projeção copa), 133% e 200% do raio da copa, em áreas vedadas e não vedadas ao pastoreio. Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo teste H de Kruskal-Wallis.

Em cada uma das áreas correspondentes à distância de 33, 66, 100, 133 e 200% do raio da copa, observou-se que as características químicas da camada 0-5cm foram de um modo geral superiores às observadas nas camadas 5-10 e 10-20 cm, podendo utilizar-se os resultados observados à distância de 66% do raio da copa, como representativos das diferentes situações (Quadro 3.3.7). Observou-se no entanto, que com o aumento da distância ao tronco, o valor da razão entre os teores na camada superficial do solo e os teores em cada uma das camadas subjacentes, se reduzia notoriamente, especialmente quanto aos nutrientes fortemente relacionados com a árvore, quer por via da queda de folhada quer através da lixiviação e lavagem das folhas pelo gotejo, como o Ca, K, N e C.

A diferenciação das características químicas do solo em resultado da presença das árvores de *Q. rotundifolia*, não pareceu diminuir em resultado da variação observada na massa volúmica aparente com o aumento da distância ao tronco, dado que ao expressar-se os nutrientes por unidade de superfície do solo (Quadro 3.3.8) se mantêm para a grande maioria deles, a diferenciação entre áreas sob e fora do coberto, principalmente nas áreas não vedadas ao pastoreio.

À profundidade de 5-10 cm e de 10-20 cm, a variação da quantidade de nutrientes com o aumento da distância ao solo, apresenta um padrão análogo ao referido para a concentração, a observação de diferenças significativas a restringirem-se aos nutrientes K, N e C, ou seja aos nutrientes cujo ciclo é fortemente condicionado pela presença da árvore (Dahlgren *et al.*, 1997, 2003).

Quadro 3.3.7 Valores médios do pH e da concentração das bases de troca, do teor de K e P extraíveis, de N orgânico total, e de C orgânico total (T), humificado (H) e não humificado (NH) determinados a partir de amostras ($n=4$) colhidas a 66% do raio da copa, à profundidade de 0-5, 5-10 e 10-20 cm do solo, em áreas vedadas e não vedadas ao pastoreio. Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste *H* de Kruskal-Wallis.

Prof. (cm)	Bases de Troca						Extraíveis						Carbono		
	pH			Ca Mg Na			P K			N T			NHU HU		
	H ₂ O	KCl	Ca	Mg	Na		P	K	N	T	NHU	HU			
AV															
0-5	5,12 ± 0,14	4,25a ± 0,33	2,71a ± 1,18	0,58 ± 0,09	0,15 ± 0,05	0,20a ± 0,03	0,07a ± 0,02	0,78a ± 0,04	1,21a ± 0,28	16,50a ± 2,91	8,28a ± 2,43	8,23a ± 1,11	12,83a ± 0,82		
5-10	5,03 ± 0,16	3,89b ± 0,15	1,24b ± 0,35	0,45 ± 0,02	0,17 ± 0,02	0,10b ± 0,02	0,03b ± 0,01	0,38b ± 0,05	0,59b ± 0,03	6,85b ± 0,217	2,05b ± 0,37	4,80b ± 0,35	12,17b ± 0,43		
10-20	4,99 ± 0,09	3,84b ± 0,09	1,24b ± 0,20	0,47 ± 0,03	0,17 ± 0,02	0,09b ± 0,03	0,04b ± 0,00	0,34b ± 0,05	0,50c ± 0,03	5,78c ± 0,41	1,45b ± 0,41	4,33b ± 0,60	11,72b ± 2,01		
ANV															
0-5	5,28 ± 0,14	4,50a ± 0,20	3,01a ± 0,49	1,18a ± 0,54	0,18 ± 0,01	0,28a ± 0,06	0,10a ± 0,01	0,98a ± 0,17	1,26a ± 0,18	16,05a ± 2,14	7,33a ± 1,56	8,73a ± 1,49	13,79 ± 0,90		
5-10	5,22 ± 0,15	4,15b ± 0,15	1,75b ± 0,15	0,64b ± 0,08	0,17 ± 0,02	0,18ab ± 0,05	0,04b ± 0,00	0,65ab ± 0,13	0,66b ± 0,02	7,98b ± 0,41	2,08b ± 0,49	5,90b ± 0,84	11,57 ± 0,26		
10-20	5,26 ± 0,03	4,09b ± 0,06	1,61b ± 0,19	0,63b ± 0,17	0,16 ± 0,01	0,16b ± 0,05	0,04b ± 0,02	0,53b ± 0,16	0,50c ± 0,09	5,85c ± 1,44	1,53b ± 0,66	4,33C ± 1,72	11,62 ± 0,83		

Quadro 3.3.8 Quantidades médias (g m^{-2}), das bases de troca, de K e P extraííveis, de N orgânico total (T), humificado (H) e não humificado (NH) determinadas a partir de amostras ($n=4$) colhidas à profundidade de 0-5 cm do solo, a 33%, 66%, 100% (limite da projecção copa), 133% e 200% do raio da copa, em áreas vedadas e não vedadas ao pastoreio. Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste H de Kruskal-Wallis.

Dist.	Bases de Troca					Extraíveis				Carbono		
	Ca	Mg	Na	K	P	K	N	T	NH	H		
AV												
33%	32,01 \pm 9,95	4,96 \pm 1,25	1,80 \pm 0,34	3,84 \pm 0,97	4,20a \pm 1,17	36,71 \pm 11,03	65,68 \pm 12,44	958,02a \pm 186,05	584,24a \pm 184,31	373,77 \pm 56,48		
66%	28,29 \pm 9,66	3,83 \pm 0,94	1,82 \pm 0,73	4,05 \pm 0,41	3,81a \pm 0,66	41,75 \pm 4,07	63,81 \pm 9,87	873,14a \pm 70,37	434,93ab \pm 92,82	438,21 \pm 51,35		
100%	28,39 \pm 2,73	4,77 \pm 0,60	1,86 \pm 0,20	3,86 \pm 0,32	3,63a \pm 0,58	39,80 \pm 4,23	57,22 \pm 7,10	791,29ab \pm 72,32	353,43b \pm 46,82	437,86 \pm 30,64		
133%	25,39 \pm 3,15	4,01 \pm 0,24	2,00 \pm 0,38	3,35 \pm 0,36	2,48b \pm 0,52	34,17 \pm 3,75	50,84 \pm 2,77	690,26bc \pm 60,04	254,58c \pm 29,91	435,68 \pm 63,72		
200%	22,93 \pm 3,54	3,93 \pm 0,78	1,87 \pm 0,36	3,29 \pm 0,65	2,68b \pm 0,94	33,30 \pm 7,33	44,50 \pm 8,45	595,08c \pm 73,44	226,92c \pm 46,96	368,17 \pm 60,14		
ANV												
33%	40,73a \pm 5,07	6,23 \pm 0,48	2,16a \pm 0,27	6,11a \pm 0,91	5,98a \pm 0,45	59,12a \pm 11,68	83,45a \pm 7,94	1181,79a \pm 151,12	627,32a \pm 120,10	554,47 \pm 110,03		
66%	34,93ab \pm 4,45	8,43 \pm 4,32	2,37ab \pm 0,04	6,22a \pm 1,11	5,89a \pm 0,62	56,57a \pm 8,16	72,65ab \pm 7,17	929,76b \pm 85,70	424,73b \pm 79,89	505,02 \pm 71,73		
33%	29,86b \pm 1,73	4,48 \pm 1,99	2,24ab \pm 0,20	5,15a \pm 0,65	4,06b \pm 0,72	46,24ab \pm 6,10	64,24b \pm 4,45	827,07bc \pm 118,74	333,73b \pm 68,40	493,34 \pm 154,08		
66%	26,25c \pm 2,16	4,87 \pm 0,80	2,47bc \pm 0,31	3,62b \pm 0,52	4,25b \pm 0,47	34,12b \pm 3,77	54,79c \pm 6,50	698,71cd \pm 14,95	222,39c \pm 42,86	476,32 \pm 77,70		
100%	24,42c \pm 2,69	4,98 \pm 1,31	2,69c \pm 0,16	3,51b \pm 0,84	3,51b \pm 0,32	33,17b \pm 11,63	55,67c \pm 3,78	666,72d \pm 56,52	209,97c \pm 18,34	456,76 \pm 45,74		

Quadro 3.3.9 Quantidades médias (g m^{-2}), das bases de troca, de K e P extraíveis, de N orgânico total (T), humificado (H) e não humificado (NH) determinadas a partir de amostras ($n=4$) colhidas à profundidade de 5-10 cm do solo, a 33%, 66%, 100% (limite da projecção copa), 133% e 200% do raio da copa, em áreas vedadas e não vedadas ao pastoreio. Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste H de Kruskal-Wallis.

Dist.	Bases de Troca				Extraíveis				Carbono			
	Ca	Mg	Na	K	P	K	N	T	NH	T	NH	H
g m^{-2}												
					AV							
33%	15,38 ±2,24	4,33 ±0,51	2,38 ±0,11	2,63a ±0,23	2,59 ±0,76	29,95 ±8,27	43,96 ±3,95	538,37 ±99,85	158,97a ±23,76	379,40 ±82,45		
66%	16,95 ±4,78	3,73 ±0,23	2,59 ±0,37	2,52ab ±0,41	2,13 ±0,90	26,04 ±3,06	40,33 ±1,31	466,40 ±11,89	139,71ac ±26,37	326,68 ±20,70		
100%	18,04 ±3,43	3,82 ±0,36	2,31 ±0,45	2,64ab ±0,52	2,18 ±0,21	28,10 ±7,29	39,36 ±3,62	524,85 ±24,01	151,52a ±19,24	373,33 ±25,61		
133%	20,31 ±2,48	3,73 ±0,04	2,54 ±0,45	2,23bc ±0,23	1,59 ±0,46	23,15 ±5,20	39,19 ±1,49	497,83 ±53,80	110,10b ±12,96	387,73 ±53,44		
200%	18,12 ±3,55	3,34 ±0,67	2,28 ±0,52	1,89c ±0,20	2,16 ±0,33	18,78 ±2,42	34,55 ±3,62	463,19 ±69,56	108,04bc ±30,02	355,16 ±43,47		
					ANV							
33%	26,20 ±2,70	7,75 ±3,59	2,56 ±0,56	4,55a ±0,52	3,41 ±1,05	42,47 ±3,41	51,59a ±3,60	639,32a ±41,51	222,76 ±79,96	416,56 ±90,13		
66%	23,63 ±1,96	5,25 ±0,69	2,59 ±0,35	4,80a ±1,18	2,85 ±0,23	43,77 ±8,78	44,06ab ±0,99	536,49b ±26,40	139,58 ±33,03	396,90 ±55,94		
33%	27,83 ±7,07	5,84 ±0,94	2,79 ±0,38	4,06ab ±1,83	3,21 ±0,79	32,79 ±7,38	41,25bc ±5,92	489,29b ±137,71	114,49 ±22,07	374,79 ±122,67		
66%	23,12 ±4,61	5,71 ±2,28	2,54 ±0,30	2,97b ±0,59	2,31 ±0,46	30,10 ±10,30	35,11c ±4,14	428,92b ±95,87	103,71 ±31,57	325,20 ±65,19		
100%	20,33 ±0,69	4,41 ±0,78	2,65 ±0,39	2,89b ±0,93	2,51 ±0,37	26,83 ±6,65	39,75bc ±4,48	463,82b ±102,21	136,93 ±82,83	326,89 ±67,74		

Quadro 3.3.10 Quantidades médias (g m^{-2}), das bases de troca, de K e P extraíveis, de N orgânico total (T), humificado (H) e não humificado (NH) determinadas a partir de amostras ($n=4$) colhidas à profundidade de 10-20 cm do solo, a 33%, 66%, 100% (limite da projecção copa), 133% e 200% do raio da copa, em áreas vedadas e não vedadas ao pastoreio. Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste H de Kruskal-Wallis.

Dist.	Bases de Troca					Extraíveis				Carbono		
	Ca	Mg	Na	K	P	K	N	T	NH	H		
	g m⁻²											
33%	16,88 ±2,96	5,14 ±1,66	3,14 ±0,38	2,37a ±0,19	2,34 ±0,45	23,10a ±2,90	34,02 ±2,48	400,74 ±41,49	94,19 ±13,72	306,55 ±45,37		
66%	17,11 ±2,48	3,94 ±0,26	2,65 ±0,27	2,35a ±0,70	2,71 ±0,21	23,36a ±3,37	34,25 ±1,33	397,86 ±28,63	100,36 ±30,64	297,50 ±36,31		
100%	20,26 ±1,76	4,17 ±0,39	2,77 ±0,31	1,98ab ±0,60	2,40 ±0,96	21,38ab ±5,96	34,30 ±4,24	415,39 ±58,99	96,48 ±32,41	318,91 ±29,09		
133%	22,10 ±6,24	4,04 ±0,44	2,67 ±0,35	1,61bc ±0,13	1,73 ±0,52	17,90bc ±1,02	32,58 ±2,00	365,77 ±38,55	100,11 ±11,93	265,65 ±33,86		
200%	20,50 ±5,54	3,73 ±0,94	2,78 ±0,48	1,38c ±0,26	2,50 ±0,51	14,42c ±1,74	31,11 ±6,55	362,17 ±105,01	76,92 ±25,24	285,25 ±82,55		
	AV											
33%	17,69 ±2,54	4,90 ±1,66	2,69 ±0,30	3,65 ±0,50	2,62 ±0,49	34,38 ±3,14	35,68 ±1,33	409,61 ±30,23	87,21 ±25,46	322,40 ±20,04		
66%	22,79 ±2,51	5,39 ±1,36	2,52 ±0,18	4,29 ±1,38	2,76 ±1,07	37,59 ±10,92	35,23 ±6,17	414,71 ±104,61	108,20 ±47,63	306,52 ±122,39		
33%	20,93 ±2,34	5,20 ±0,77	2,73 ±0,38	3,06 ±0,47	3,35 ±0,91	29,29 ±3,52	32,50 ±4,73	379,70 ±71,58	75,60 ±8,59	304,11 ±72,21		
66%	21,11 ±5,10	5,63 ±1,99	2,68 ±0,50	2,88 ±0,76	2,76 ±0,72	28,57 ±5,52	33,18 ±3,67	383,81 ±51,49	71,72 ±27,37	312,09 ±38,21		
100%	22,73 ±0,87	5,74 ±1,29	2,70 ±0,09	2,77 ±0,94	2,98 ±1,36	25,84 ±7,30	32,90 ±5,41	353,62 ±71,33	65,60 ±17,40	288,02 ±65,81		

A diferenciação constatada nas características da camada superficial do solo (0-5 cm) tem sido igualmente verificada por diferentes autores (Zinke, 1962; Escudero *et al.*, 1985; Wolfe *et al.*, 1987; Kretinin, 1993; Seiler & Matzner, 1995; Dahlgren *et al.*, 1997, 2003), em estudos semelhantes com a mesma e outras espécies.

Um dos factores de maior relevância na diferenciação das características do solo consiste na interacção entre o ciclo de nutrientes e essas características, na área da projecção vertical das copas das árvores, consubstanciada, em grande parte, pelos "inputs" de matéria orgânica devido à queda de folhada e pelo retorno de nutrientes ao solo devido à decomposição daquela. O retorno de nutrientes referido para a componente folhas deverá ser ainda mais elevado se considerarmos as outras componentes da folhada (frutos e ramos). A quantidade devolvida pelos ramos será reduzida, dado estes, para além da baixa quantidade, apresentarem em geral uma concentração de nutrientes bastante menor do que a determinada para as folhas (Cortez, 1996). Pelo contrário, a quantidade respeitante aos frutos, devido à concentração de nutrientes nestes (Escudero *et al.*, 1985), poderá atingir valores bastante elevados.

A quantidade de nutrientes carreados pelas soluções resultantes da precipitação influenciará também, embora com um carácter complementar à da acção da folhada, a variabilidade da disponibilidade em nutrientes dos solos sob e fora da acção do copado das árvores de *Q. rotundifolia*, conforme foi constatado por outros autores em estudos análogos a este com a mesma e outras espécies (Rodá *et al.*, 1990; Wolfe *et al.*, 1987; Kretinin, 1993; Seiler & Matzner, 1995). Ainda no que se refere à redistribuição de nutrientes, devemos salientar a circunstância de ao escorrimento ao longo do tronco, não obstante corresponder uma devolução muito inferior àquela devida à precipitação bruta, quando expressa em relação à totalidade da área de coberto, corresponder uma devolução muito elevada quando expressa pela área efectivamente por ele influenciada (Voight, 1960). Este facto poderá assumir relevância na diferenciação de disponibilidade de nutrientes, principalmente nas áreas próximas do tronco, como está expresso pela elevada quantidade de potássio.

A variabilidade apresentada pelas características do solo com a distância ao tronco da árvore sugere a influência da distribuição de nutrientes pelas soluções da precipitação, bem como do padrão de distribuição espacial da folhada, tal como é referido por Zinke (1962). Além disso, ter-se-á que considerar o efeito exercido pela vegetação herbácea e arbustiva fora e sob a projecção da copa das árvores na expressão das características físico-químicas do solo (Escudero *et al.*, 1985), bem como o devido ao sistema radical dessa vegetação e das próprias árvores (Dahlgren *et al.*, 1997, 2003).

3.3.7 Conclusões

Os resultados do presente estudo indicam que a presença *Q. rotundifolia* cria ilhas de acentuada qualidade e fertilidade do solo, correspondente às áreas sob a acção da copa das árvores. O teor em nutrientes no sob coberto foi em geral 1,5 a 2 vezes superior ao observado nas áreas adjacentes, para a maioria dos parâmetros avaliados.

A devolução ao solo de grandes quantidades de matéria orgânica nas áreas do sob coberto, originando uma melhoria considerável na estrutura do solo, com implicações evidentes na permeabilidade e na capacidade de retenção de água do solo. Não se observaram no entanto diferenças significativas entre os teores em água do solo, entre as áreas do sob coberto e as áreas adjacentes, podendo concluir-se que a presença da árvore embora não tenha implicado um acréscimo na disponibilidade em água nas áreas sob a copa, também não será um competidor por este recurso em relação à vegetação herbácea que aí se desenvolva.

Parece portanto evidente o papel importante o papel da árvore na captura, e na devolução e retenção de nutrientes no solo.

3.4 Dinâmica do N e respiração do solo

A mineralização do C orgânico e do N do solo são processos fundamentais na sustentabilidade dos ecossistemas, quer naturais quer intervencionados pelo homem (Giardina *et al.*, 2001), sendo a disponibilidade em N considerada, para a grande maioria das comunidades de plantas, como a mais limitante relativamente à dos restantes nutrientes (Vitousek *et al.*, 1982; Vitousek & Howart, 1991; Paul *et al.*, 2002; Vestgarden *et al.*, 2003). Considerando que o N é preferencialmente absorvido pelas plantas por intermédio das suas formas minerais (N-NH_4^+ e N-NO_3^-) (Brady & Weil, 1999), o mecanismo e a taxa da mineralização do mesmo assume particular importância na disponibilidade em amónio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) nos ecossistemas (Vestgarden *et al.*, 2003).

A mineralização do N nos ecossistemas encontra-se fortemente correlacionada com o teor de matéria orgânica do solo (Rovira & Vallejo, 1997), o valor de pH (Laverman *et al.*, 2000; Vestgarden *et al.*, 2003), o microclima (Pastor *et al.*, 1984; Wong & Nortcliff, 1995; Rovira & Vallejo, 1997; Andersen & Jensen, 2001; Theodore & Martin, 2003), o teor de humidade (Pastor *et al.*, 1984; Wong & Nortcliff, 1995; Paul *et al.*, 2003), o tipo de vegetação (herbácea, arbustiva, arbórea ou mistura de ambas), bem como a respectiva composição específica (Gill *et al.*, 1995; Hart *et al.*, 1997; Kristensen & Henriksen, 1998; Bennet & Adams, 1999; Laverman *et al.*, 2000; Luo *et al.*, 2000; Giardina *et al.*, 2001), a qualidade dos resíduos vegetais devolvidos ao solo por essa vegetação (Berg & Ekbohm, 1983; Stump & Binkley, 1993; Theodore & Martin, 2003) e as diferenças nas populações microbianas resultantes da conjugação de todos esses factores (Priha & Smolander, 1999; Abril *et al.*, 2001).

No sistema “montado” de *Quercus rotundifolia* Lam as árvores, ao apresentarem grande espaçamento entre si, diferenciam as características do solo da área sob a acção da sua copa relativamente aquela em que essa acção não se verifica (cf. 3.2 e 3.3). Este padrão foi observado quer para a mesma espécie (Escudero, 1985; Joffre *et al.*, 1988; Joffre & Rambal, 1988, 1993) quer para outras espécies (Zinke, 1962; Belsky *et al.* 1989; Jackson *et al.*, 1990; Dahlgren *et al.*, 1997, 2003). A diferenciação do microclima do solo e das suas características físicas e químicas, entre áreas sob e fora da acção da copa de *Q. rotundifolia*, poderão originar distintas disponibilidades de N e consequentemente diferentes taxas de absorção/lixiviação deste nutriente.

Consequentemente avaliaram-se as quantidades de N e C totais, a disponibilidade de N mineral ao longo do tempo, a mineralização de N *in situ* e o potencial de mineralização de N em diferentes condições, de modo a avaliar a acção da *Q. rotundifolia* no solo do sob coberto, relativamente às áreas fora da acção deste. Com o objectivo de diferenciar o simples efeito do coberto dos restantes efeitos, avaliaram-se igualmente as quantidades de

N e C totais, a disponibilidade de N mineral ao longo do tempo, a mineralização de N *in situ*, em áreas sujeitas e não sujeitas a sombreamento artificial.

Avaliou-se igualmente a acção da *Q. rotundifolia* na respiração de solo, medindo-a nas áreas do sob coberto e nas áreas fora deste

Nesta secção apresentam-se e discutem-se os resultados respeitantes ao teor de N e C totais, à razão C/N, ao teor de N mineral, à nitrificação, à amonificação, à lixiviação, à absorção e ao potencial de mineralização de N, de Novembro de 2000 a Novembro de 2002, e os resultados da respiração do solo de Dezembro de 2001 a Julho de 2002.

3.4.1 N e C totais do solo

A concentração de N total no solo das áreas sob a acção da copa de *Q. rotundifolia* (Quadro 3.4.1) foi quase sempre significativamente superior à observada no solo das áreas fora da acção do coberto arbóreo, em qualquer uma das profundidades consideradas.

Quadro 3.4.1 Valor médio (\pm desvio padrão) da concentração (g kg^{-1}) de N e C orgânico, e da razão C/N, nas profundidades de 0-10 e de 10-20 cm, do solo das áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*, em Novembro de 2000, Maio de 2001 e Junho de 2002.

	N			C			C/N		
	Nov 00	Mai 01	Jun 02	Nov 00	Mai 01	Jun 02	Nov 00	Mai 01	Jun 02
0-10 cm									
FC	0,94 [*] \pm 0,09	0,87 [*] \pm 0,02	0,81 [*] \pm 0,06	9,30 [*] \pm 0,36	7,07 [*] \pm 0,57	8,63 [*] \pm 0,51	9,90 [*] \pm 0,73	8,15 [*] \pm 0,52	10,72 \pm 1,32
SC	1,30 [*] \pm 0,05	1,25 [*] \pm 0,10	1,15 [*] \pm 0,06	15,30 [*] \pm 0,87	14,03 [*] \pm 0,67	14,37 [*] \pm 2,67	11,77 [*] \pm 1,13	11,27 [*] \pm 0,34	12,41 \pm 1,75
10-20 cm									
FC	0,61 [*] \pm 0,02	0,61 [*] \pm 0,02	0,60 \pm 0,02	5,07 \pm 0,06	5,07 [*] \pm 0,06	5,43 \pm 0,59	8,36 \pm 0,25	8,36 \pm 0,25	9,04 \pm 0,69
SC	0,67 [*] \pm 0,02	0,65 [*] \pm 0,02	0,63 \pm 0,04	5,80 \pm 0,70	5,77 [*] \pm 0,38	7,03 \pm 1,20	8,65 \pm 0,93	8,82 \pm 0,40	11,16 \pm 1,85

Valores com * na mesma coluna, para a mesma profundidade são significativamente diferentes ($p<0,05$) pelo teste U de Mann-Whitney.

Tal como para o N, o teor em C orgânico total no solo das áreas sob a acção da copa de *Q. rotundifolia* foi sempre significativamente superior ao das áreas fora da acção desta, na profundidade 0-10 cm. Na camada 10-20 cm, embora nas áreas sob coberto o solo apresentasse teores de C superiores, estes apenas diferiram significativamente numa das amostragens.

O padrão observado na diferenciação dos valores de N e de C orgânico entre as áreas sob e fora da acção do coberto das árvores, está de acordo com o observado em estudos similares em *Q. ilex* na zona da Andaluzia em Espanha (Gallardo *et al.*, 2000)

A razão C:N na profundidade de 0-10 cm foi também significativamente superior no solo das áreas do sob coberto, enquanto na de 10-20 cm os valores não diferiram entre locais de amostragem, e foram de um modo geral semelhantes.

De modo inverso ao observado por Gallardo *et al.* (2000), a razão C:N no presente estudo foi superior no solo do sob coberto, em resultado da incorporação no solo destas áreas de uma grande quantidade de resíduos da folhada com uma elevada razão C:N.

A ocorrência de valores de N e C orgânico totais mais elevados nas áreas do sob coberto indicam a existência de condições mais favoráveis à actividade microbiana no solo, e os valores da razão C/N embora sejam igualmente superiores nesta área não atingem uma magnitude tal que induzem à imobilização do N, pois encontram-se abaixo do intervalo 15-25 normalmente observado à superfície (0-20 cm) dos solos florestais (Attiwil & Leeper, 1987).

Quadro 3.4.2 Valor médio e desvio padrão, da concentração (g kg^{-1}) de N e C orgânico, e da razão C/N, nas profundidades de 0-10 e de 10-20 cm, do solo das áreas com (RR) e sem (RT) sombreamento artificial, em Abril e Junho de 2002.

	N		C		C/N	
	Abril 02	Junho 02	Abril 02	Junho 02	Abril 02	Junho 02
0-10 cm						
RT	1,14 ±0,07	1,24 * ±0,16	12,53 ±1,66	14,07 ±2,54	10,98 ±1,16	11,30 ±0,53
RR	1,13 ±0,20	1,02 * ±0,09	12,47 ±1,93	11,87 ±0,83	11,09 ±0,38	11,68 ±1,10
10-20 cm						
RT	0,73 ±0,11	0,66 ±0,02	9,63 ±6,33	6,57 ±1,07	12,54 ±6,57	9,99 ±1,45
RR	0,60 ±0,08	0,67 ±0,03	6,17 ±0,85	6,17 ±0,32	10,35 ±1,55	9,16 ±0,10

Valores com * na mesma coluna, para a mesma profundidade correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo teste *U* de Mann-Whitney.

Como seria de esperar os teores de N e C orgânico totais, bem como o valor da razão C:N, não diferiram significativamente entre as áreas das parcelas experimentais sujeitas e não sujeitas a sombreamento artificial (Quadro 3.4.2), uma vez que o único factor que diferenciava as duas áreas era o da quantidade de radiação que atingia o solo.

3.4.2 Efeito das árvores (*Quercus rotundifolia*) na disponibilidade de azoto no solo

3.4.2.1 Variação da concentração de N (N [NH_4^+] e N [NO_3^-]) mineral no solo

A concentração de N mineral (NH_4^+ e NO_3^-) no solo variou com o local, a profundidade e a data de amostragem (Figura 3.4.1 e Anexos 3.4.1 a 3.4.3).

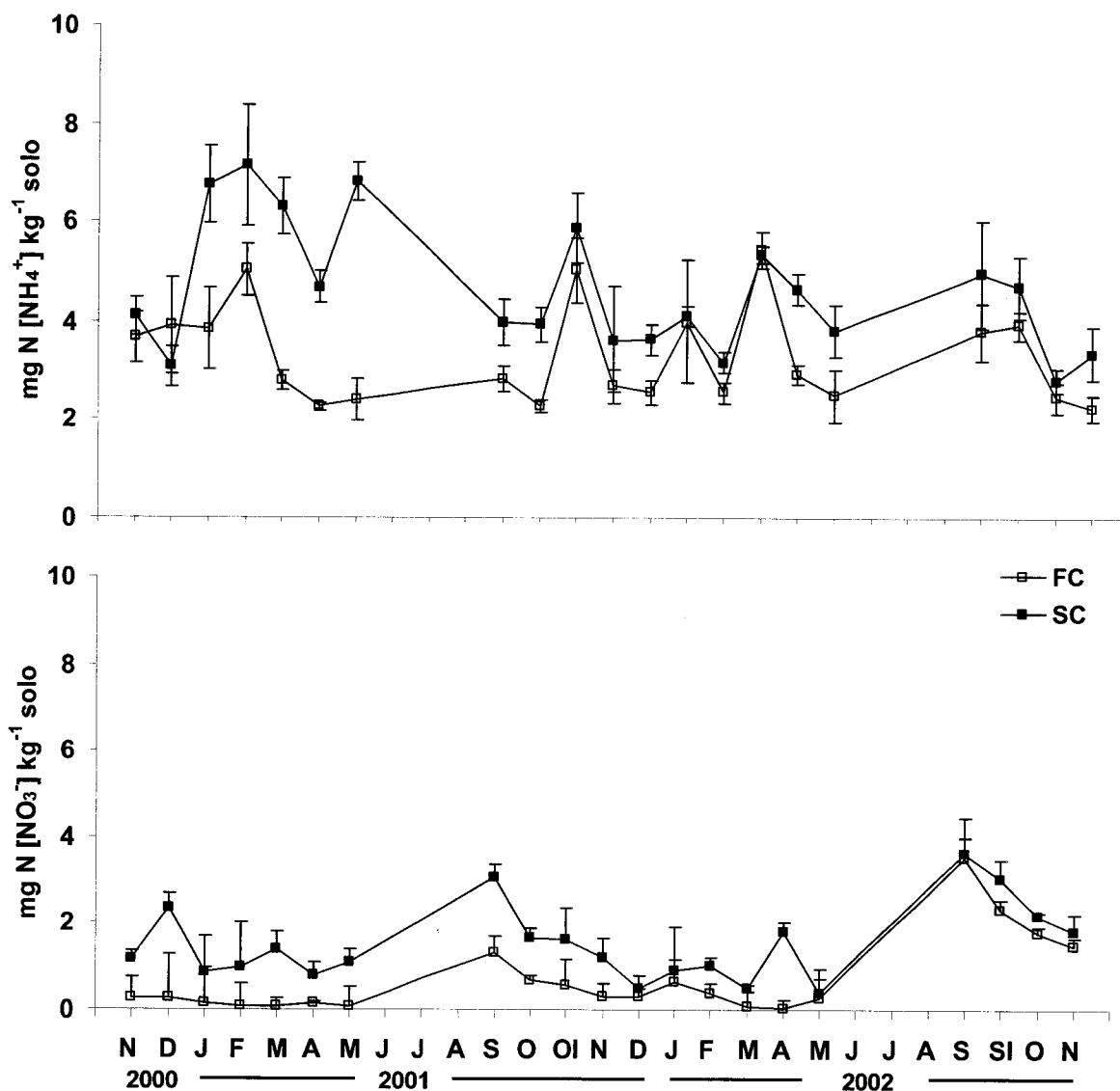


Figura 3.4.1 Concentrações (mg kg^{-1}) de $\text{N} [\text{NH}_4^+]$ e de $\text{N} [\text{NO}_3^-]$ no solo, à profundidade de 0-10 cm, das áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*, de Novembro de 2000 a Novembro de 2002. Os valores correspondem à média ($n=5$) e as barras indicam o erro padrão.

Na profundidade de 0-10 cm concentração de N mineral (NH_4^+ e NO_3^-) foi quase sempre superior no solo das áreas sob a copa das árvores (SC), embora os valores de concentrações de $\text{N} [\text{NO}_3^-]$ tenham sido bastante inferiores aos da concentração $\text{N} [\text{NH}_4^+]$, principalmente nas áreas fora da acção da copa das árvores (FC).

Nas áreas sob coberto, a concentração de $\text{N} [\text{NH}_4^+]$ foi quase sempre superior à observada nas áreas fora do coberto arbóreo, com a maioria das amostragens a apresentarem diferenças significativas entre as duas áreas (Anexo 3.4.2).

O padrão de variação do $\text{N} [\text{NH}_4^+]$ ao longo do tempo foi semelhante nas duas áreas de amostragem, verificando-se apenas pontualmente algumas diferenças na tendência geral. Não se observaram correlações entre o teor desta forma de N e a temperatura média nos

intervalos de amostragem, quer do ar quer do solo, em qualquer uma das áreas de amostragem. Nas áreas FC o teor de N [NH₄⁺] comportou alguma influência da humidade, dado que se correlacionou com a quantidade de precipitação acumulada no período entre amostragens ($r=0,196$; $p<0,05$), com a quantidade de precipitação acumulada nos 10 dias anteriores à data de amostragem ($r=0,309$; $p<0,001$) e ainda com a humidade do solo ($r=0,167$; $p<0,05$). O coeficiente de regressão linear simples entre o teor de N [NH₄⁺] e a quantidade de precipitação acumulada nos 10 dias anteriores à data de amostragem foi significativo ($R^2=0,11$; $p<0,05$), embora mais de 80% da variabilidade não seja explicada por este parâmetro. Nas áreas SC observou-se igualmente alguma influência da humidade no teor de N [NH₄⁺], consubstanciada na correlação estabelecida com a quantidade de precipitação acumulada no período entre amostragens ($r=0,205$ $p<0,05$) e com a quantidade de precipitação acumulada nos 5 dias anteriores à data de amostragem ($r=-0,252$; $p<0,005$), embora negativamente quanto a este último parâmetro. A variabilidade do teor de N [NH₄⁺] explicada pela quantidade de precipitação acumulada nos 5 dias anteriores à data de amostragem foi estatisticamente significativa, embora reduzida ($R^2=0,12$; $p<0,05$).

Nas áreas SC determinou-se um teor máximo de N [NH₄⁺] de 7,15 mg kg⁻¹ e um teor mínimo de 2,82 mg kg⁻¹, enquanto nas áreas FC este teor foi, respectivamente, de 5,44 e 2,25 mg kg⁻¹.

Os teores de N [NO₃⁻] no solo das áreas SC, foram sempre superiores aos observados nas áreas FC, com mais de dois terços das datas de amostragem a apresentarem diferenças significativas entre elas, ocorrendo as amostragens não significativas apenas durante 2002 (Figura 3.4.1 e Anexo 3.4.3). O padrão de variação do N [NO₃⁻] na profundidade 0-10 cm apresentou algumas diferenças entre as áreas SC e FC, principalmente nos meses de Março 2001 e Abril de 2002, em que se observaram máximos de concentração desta forma de N nas primeiras mas não nas segundas, os quais estarão eventualmente relacionados com os máximos de queda de folhada na azinheira, que ocorrem preferencialmente nesses dois meses (Nunes *et al.*, 1999). Por outro lado, nas áreas do sob coberto poderão ter ocorrido durante esses períodos condições de temperatura e humidade mais favoráveis à nitrificação. Nas áreas fora da copa, as elevadas quantidades de precipitação verificadas nos meses em questão, podem ter resultado numa lixiviação mais eficiente do N nitrificado.

Ocorreram, simultaneamente nas duas áreas de amostragem máximos Outonais de N [NO₃⁻], tanto em 2001, como em 2002, facto este que poderá ser atribuível ao N microbiano disponibilizado pela mineralização resultante do humedecimento do solo após o período de estio (Serrasolses *et al.*, 1999). Adicionalmente, será de esperar que em resultado da seca estival uma elevada proporção das raízes finas e de micorrizas entrem em

senescênciam, disponibilizando o seu conteúdo em N (Gordon & Jackson, 2000). Embora em locais com baixos teores de nutrientes seja de esperar uma menor taxa do turnover das raízes finas (Nadelhoffer *et al.*, 1985), nas condições do presente estudo, deve predominar o efeito do dessecamento do solo à profundidade de 0-20 cm.

O teor de N [NO₃⁻] parece ter sido condicionado pela temperatura média nos intervalos de amostragem, quer do ar quer do solo, uma vez que se correlacionou de modo positivo com estes parâmetros climáticos, tanto nas áreas FC ($r=0,712$ e $r=0,744$; $p<0,001$) como nas áreas SC ($r=0,660$ e $r=0,683$; $p<0,001$), correlações estas que resultaram na obtenção de regressões lineares simples entre o teor de NO₃⁻ e cada um desses dois parâmetros, que explicam entre cerca de 40 a 50%, da variabilidade, respectivamente nas áreas SC ($R^2=0,44$ e $R^2=0,47$; $p<0,05$) e FC ($R^2=0,51$ e $R^2=0,55$; $p<0,05$).

A humidade aparente influir de forma significativa no teor desta forma de N somente nas áreas FC, uma vez que apenas nestas áreas se observou a existência de correlação, negativa ($r=-0,272$; $p<0,01$) com a quantidade de precipitação acumulada durante o intervalo de amostragem, mas positiva com a quantidade de precipitação acumulada nos 10 dias ($r=0,177$; $p<0,05$) e 5 dias ($r=0,175$; $p<0,05$) anteriores à data de amostragem. Destas três correlações, apenas a primeira deu origem a regressão linear simples significativa, apresentando um coeficiente de determinação com alguma expressão ($R^2=0,41$; $p<0,05$).

Nas áreas SC determinou-se um teor máximo de NO₃⁻ de 3,64 mg kg⁻¹ e um teor mínimo de 0,38 mg kg⁻¹, enquanto nas áreas fora da acção da copa da azinheira (FC) este teor foi, respectivamente, de 3,52 e 0,05 mg kg⁻¹.

O teor de NH₄⁺ determinado na profundidade de 10-20 cm foi superior no solo das áreas SC relativamente ao determinado nas áreas FC, para dois terços das datas de amostragem, embora apenas em menos de metade destas a diferença tenha sido significativa (Figura 3.4.2 e Anexo 3.4.2). Os teores de NH₄⁺ determinados a esta profundidade aproximaram-se mais entre as duas áreas, reflectindo-se nos teores máximos e mínimos observados nas diferentes áreas de amostragem que foram respectivamente de 4,84 e 1,50 mg kg⁻¹ nas áreas FC e de 4,28 e 2,02 mg kg⁻¹ nas áreas SC. O padrão de variação do N ao longo do tempo não apresentou um paralelismo tão evidente entre as duas áreas de amostragem, como na profundidade 0-10 cm, observando-se mesmo tendências contrárias principalmente durante 2001.

Nas áreas FC não se observaram correlações entre o teor desta forma de N e a temperatura média nos intervalos de amostragem, quer do ar quer do solo. Já nas áreas SC o teor de N [NH₄⁺], correlacionou-se negativamente com esses dois parâmetros ($r=-0,204$;

$p < 0,05$ e $r = -0,235$; $p < 0,001$), não se tendo obtido, no entanto, regressões significativas entre o teor do N amoniacal e a temperatura do ar ou do solo.

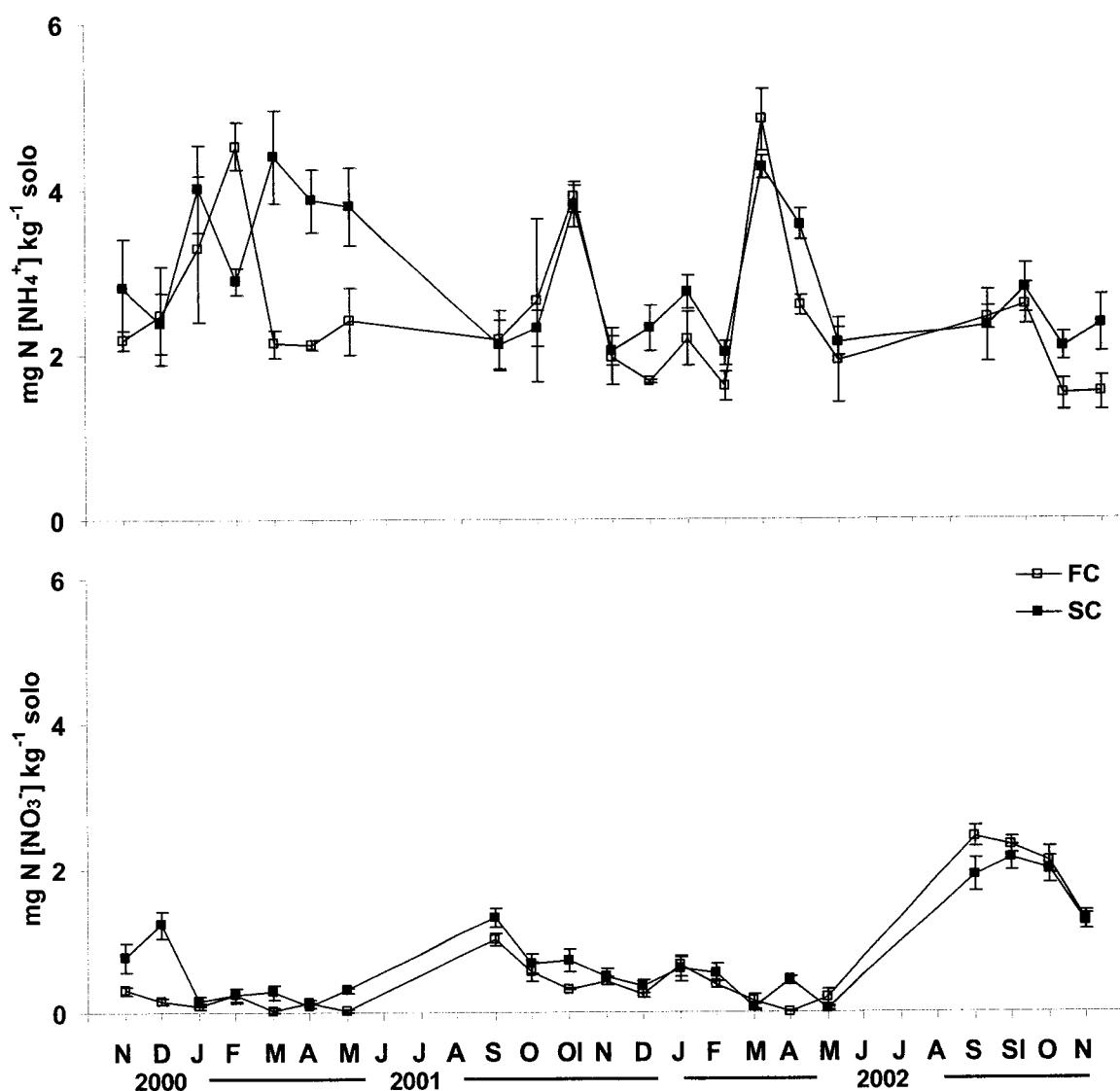


Figura 3.4.2 Concentrações (mg kg^{-1}) de N $[\text{NH}_4^+]$ e de N $[\text{NO}_3^-]$ do solo, à profundidade de 10-20 cm, das áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*, de Novembro de 2000 a Novembro de 2002. Os valores correspondem à média ($n=5$) e as barras indicam o erro padrão.

Tanto nas áreas FC como nas áreas SC, o teor de N $[\text{NH}_4^+]$ apresentou correlações positivas e significativas com a quantidade de precipitação acumulada no período entre amostragens, as quais foram respectivamente de $r=0,266$ e $r=0,228$ para $p<0,01$. Observou-se ainda nas áreas FC uma correlação positiva com a quantidade de precipitação acumulada nos 10 dias anteriores à amostragem ($r=0,363$; $p<0,001$) concretizada em regressão linear simples mas pouco explicativa da variabilidade observada ($R^2=0,13$; $p<0,05$). A quantidade de precipitação acumulada nos 5 dias anteriores à amostragem apenas se correlacionou com o teor de N $[\text{NH}_4^+]$ nas áreas SC embora negativamente

($r=-0,196$; $p<0,05$), não se observado no entanto, qualquer relação entre a humidade do solo e este teor.

O teor de NO_3^- determinado na profundidade de 10-20 cm, embora tenha sido superior nas áreas SC relativamente às áreas FC em mais de 50% das datas de amostragem, não apresentou diferenças significativas entre as duas áreas em qualquer das datas de amostragem (Anexo 3.4.3). O padrão de variação do NO_3^- parece indicar este facto, pois embora repita muito aproximadamente o padrão observado na profundidade de 0-10 cm, podendo mesmo aplicar-se as considerações aí expostas, observou-se uma maior proximidade dos teores entre as duas áreas, conforme se pode confirmar na Figura 3.4.2. Os teores de NO_3^- máximos e mínimos determinado nas duas áreas de amostragem foram respectivamente de 2,45 e 0,21 mg kg^{-1} nas áreas FC e de 2,15 e 0,04 mg kg^{-1} nas áreas SC.

A correlação entre temperatura média nos intervalos de amostragem, quer do ar quer do solo, e o teor de N [NO_3^-] observada na profundidade 0-10 cm, também se detectou na profundidade 10-20 cm, embora menos fortemente, conforme se depreende das correlações positivas estabelecidas com esses parâmetros climáticos, tanto nas áreas FC ($r=0,659$ e $r=0,679$; $p<0,001$) como nas áreas SC ($r=0,623$ e $r=0,636$; $p<0,001$), cumulativamente com a obtenção de regressões lineares simples entre o teor de NO_3^- e cada um desses dois parâmetros, que explicam entre cerca de 38 a 46%, da variabilidade, respectivamente nas áreas SC ($R^2=0,38$ e $R^2=0,40$; $p<0,05$) e FC ($R^2=0,44$ e $R^2=0,46$; $p<0,05$).

Tal como para a profundidade de 0-10 cm, observou-se que na camada de 10-20 cm a humidade se correlacionou com o teor desta forma de N apenas nas áreas FC, tendo-se obtido correlações negativas com a quantidade de precipitação acumulada durante o intervalo de amostragem ($r=-0,239$; $p<0,01$) e com o teor de humidade do solo ($r=-0,176$; $p<0,05$). A quantidade de precipitação acumulada nos 10 e 5 dias anteriores à amostragem também apresentaram correlações positivas, respectivamente de $r=0,272$ e de $r=0,223$ para $p<0,01$. De todas as correlações obtidas com os parâmetros relacionados com a precipitação, apenas foi possível estabelecer regressão linear significativa com a quantidade de precipitação acumulada durante o intervalo de amostragem, embora explicando apenas de 22% da variabilidade ($R^2=0,22$; $p<0,05$).

3.4.2.2 Mineralização de N ($\text{N}[\text{NH}_4^+]$ e $\text{N}[\text{NO}_3^-]$) *in situ*

Os valores da mineralização¹² de N ($\text{N}[\text{NH}_4^+]$ e $\text{N}[\text{NO}_3^-]$) observados na profundidade 0-10 cm foram superiores aos da profundidade 10-20 cm (Figura 3.4.3 e 3.4.4; Anexos 3.4.4 a 3.4.6).

Na profundidade de 0-10 cm as amostragens em que as quantidades de N $[\text{NH}_4^+]$ produzidas foram mais elevadas observaram-se nas áreas fora da acção da copa da azinheira (FC), e foram as referentes ao mês de Setembro de 2001, e aos meses de Fevereiro e Março de 2002 (Figura 3.4.3 e Anexos 3.4.5). Observou-se igualmente que a esta profundidade de amostragem a amonificação líquida nas áreas FC foi superior na maioria das datas de amostragem, mas de modo significativo apenas em Março de 2002, uma das duas únicas amostragens em que se observaram diferenças significativas entre a quantidade de N $[\text{NH}_4^+]$ produzido nas duas áreas (Anexo 3.4.5).

A temperatura média, quer do ar quer do solo, durante os intervalos de amostragem, não terá tido uma acção preponderante no processo da amonificação à profundidade de 0-10 cm, uma vez que as correlações obtidas com estes parâmetros climáticos não foram muito fortes, tanto nas áreas FC ($r=-0,266$ e $r=-0,256$; $p<0,05$) como nas áreas SC ($r=-0,409$ e $r=-0,417$; $p<0,001$). Além deste facto, as regressões lineares simples entre a amonificação e cada um desses dois parâmetros obtidas, apenas explicam cerca de 7% da variabilidade nas áreas FC ($R^2=0,07$; $p<0,05$) e 18% da variabilidade nas áreas SC ($R^2=0,18$ e $R^2=17$; $p<0,05$).

A precipitação apenas se correlacionou com a amonificação, quanto à quantidade acumulada nos 5 dias anteriores à amostragem, tanto nas áreas FC ($r=0,293$; $p<0,05$) como nas áreas SC ($r=0,399$; $p<0,001$), e as regressões lineares simples obtidas entre a amonificação e a quantidade de precipitação acumulada nos 5 dias anteriores à amostragem, apresentaram coeficientes de determinação pouco expressivos quer nas áreas FC ($R^2=0,09$; $p<0,05$) quer nas áreas SC ($R^2=0,16$; $p<0,05$). No entanto, a correlação entre o teor de humidade do solo e a amonificação apenas se observou nas áreas SC ($r=0,419$; $p<0,001$), tendo sido possível estabelecer uma regressão linear simples embora com um coeficiente de determinação baixo ($R^2=0,18$; $p<0,05$).

Em ambas as áreas de amostragem a quantidade de N $[\text{NH}_4^+]$ produzida correlacionou-se inversamente com o seu teor inicial no solo ($r=-0,318$ e $r=-0,336$; $p<0,01$).

¹² O termo mineralização é utilizado neste texto como o balanço entre o N mineralizado e o N imobilizado conforme Azevedo (2000).

A quantidade de N [NO_3^-] produzida na profundidade 0-10 cm, de igual modo ao observado para o N amoniacial, foi superior à quantidade produzida à profundidade 10-20 cm (Figura 3.4.3 e 3.4.4; Anexo 3.4.6).

Os valores de N nitrificado foram mais elevados nas áreas do sob coberto, na profundidade 0-10 cm, no Outono (Outubro de 2001) e na Primavera (Abril de 2002). O facto de a amostragem de Setembro de 2001 ter sido realizada após um intervalo de amostragem de cerca de 4 meses (período de estio), leva-nos a considerar este máximo mais dependente do tempo de incubação do que de outros factores que afectam este processo.

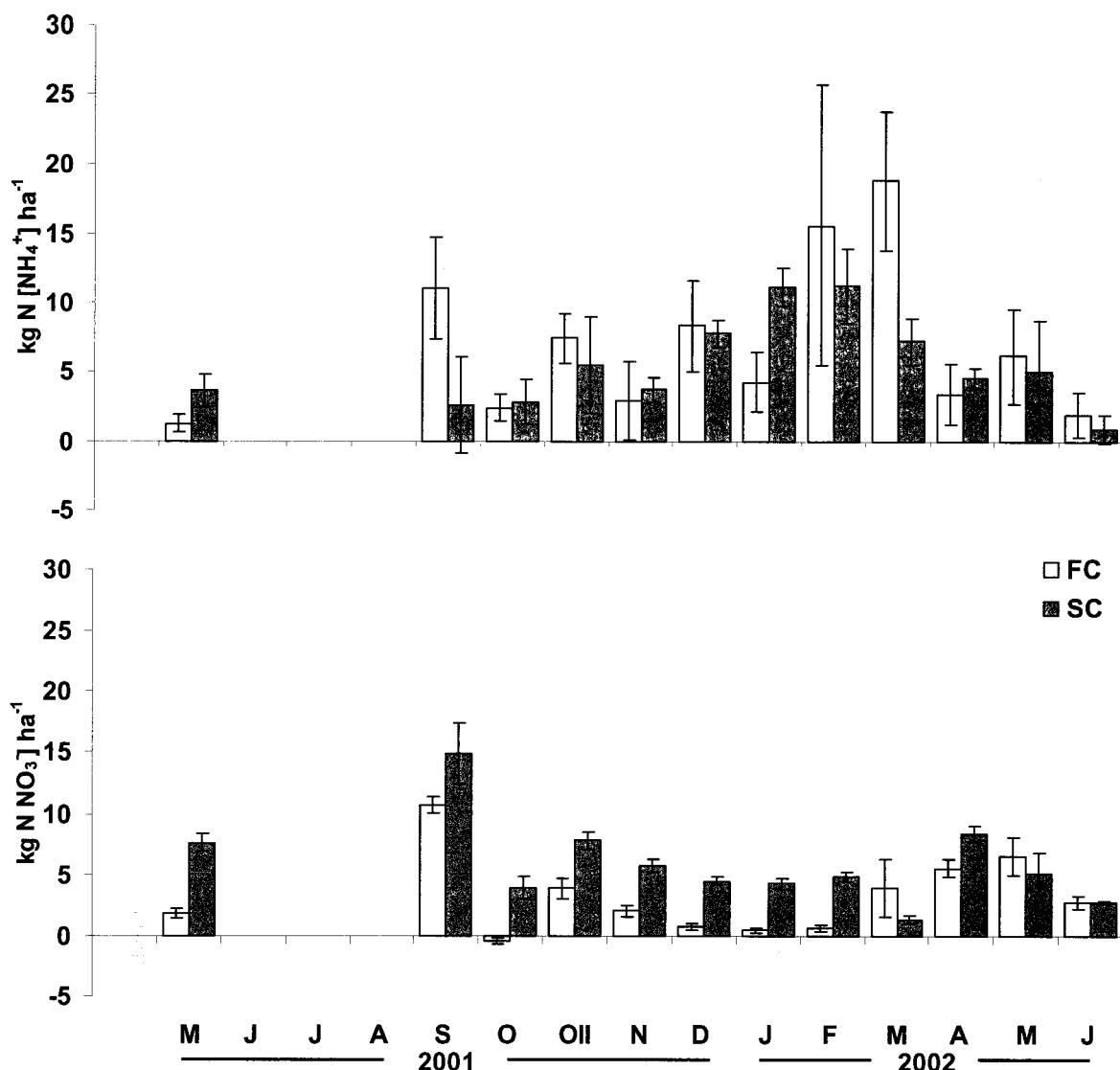


Figura 3.4.3 Mineralização de N *in situ* ($\text{kg N} [\text{NH}_4^+]$ e $\text{kg N} [\text{NO}_3^-]$ ha^{-1}) no solo, à profundidade de 0-10 cm, das áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*, de Maio de 2001 a Junho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=5$) e as barras indicam o erro padrão.

Inversamente ao observado na amonificação, na profundidade de 0-10cm a nitrificação foi superior nas áreas SC em 83% das amostragens, observando-se diferenças significativas em 75% delas e com as quantidades mais elevadas a ocorrerem sempre nas áreas SC (Anexo 3.4.6).

Nas duas áreas de amostragem não se observaram correlações entre a nitrificação e a temperatura do ar, entre a nitrificação e a temperatura do solo e entre a nitrificação e a quantidade de precipitação acumulada, nos intervalos de amostragem. O teor de humidade do solo só se correlacionou com a nitrificação nas áreas FC e negativamente, ($r=-0,335$; $p<0,01$), tendo sido ainda possível estabelecer uma regressão linear simples entre a nitrificação e o teor de humidade do solo com um $R^2=0,11$ para $p<0,05$.

A quantidade de N [NO_3^-] produzida nas áreas FC correlacionou-se inversamente com o seu teor inicial no solo ($r=-0,466$; $p<0,001$), enquanto nas áreas SC a correlação foi com o teor inicial no solo de N-NH_4^+ ($r=0,566$; $p<0,001$).

O padrão de mineralização observado no presente estudo, com os máximos de mineralização líquida a ocorrerem no Outono e na Primavera, está de acordo com o observado em solos de clima mediterrânico, nos quais a mineralização se verifica preferencialmente nos períodos de humidade e temperatura mais favoráveis (Read & Mitchell, 1983). Schaefer (1973) e Davidson *et al.* (1992) reportam que nas condições mediterrânicas, a nitrificação ainda mais do que a amonificação, se encontra muito dependente da ocorrência de condições adequadas, uma vez que as populações de organismos nitrificantes do solo são extremamente sensíveis às variações do teor de humidade do solo, dos ciclos de dessecção e humedecimento, bem como da disponibilidade em amónio. No presente estudo não foi clara a influência desses factores no processo de nitrificação, dadas as fracas ou mesmo inexistentes correlações estabelecidas entre a quantidade de precipitação, o teor de humidade do solo e a quantidade de N nitrificado. Nas áreas do sob coberto ao observar-se uma correlação positiva entre a nitrificação e o teor inicial no solo de N [NH_4^+] poderia sugerir uma situação mais de acordo com a citada, no entanto devemos ter em atenção que a decomposição da folhada da árvore ao competir pelo N amoniacial irá influenciar o processo de mineralização do azoto nestas áreas.

O desfasamento observado entre a mineralização do N [NO_3^-] e a mineralização do N [NH_4^+], quer nas áreas FC quer nas áreas SC, está em linha com o observado em estudos análogos (Serrasolses *et al.*, 1999, Gallardo *et al.*, 2000) e pode ser explicado pelo facto de a disponibilidade em N amoniacial funcionar como condicionador da nitrificação, como foi observado em diversos estudos (Robertson & Vitousek, 1981; Vitousek *et al.*, 1982; Pastor *et al.*, 1984; Gallardo *et al.*, 2000).

Dadas as fracas correlações que se observaram entre a mineralização de N e os parâmetros climáticos, bem como as reduzidas ou quase inexistentes diferenças significativas entre as duas áreas de amostragem, quanto à temperatura (cf. 3.2.3) e ao teor de humidade (cf. 3.3.3) do solo, é plausível que não sejam estes os parâmetros fundamentais para explicar as diferenças observadas quanto ao processo de mineralização entre as áreas FC e as áreas SC. Uma explicação adicional poderá residir na diferença, entre as duas áreas de amostragem, quanto à qualidade e quantidade do substrato, que no solo do sob coberto serão superiores. Esta questão tem sido referida para explicar diferenças no padrão de mineralização em situações nas quais não se verificam diferenças quanto à temperatura e humidade do solo (Vitousek & Matson, 1985). Por outro lado, o diferente teor em N [NH_4^+] observado nas duas áreas de amostragem terá implicações na dinâmica de liberação do N dos resíduos que entram em contacto com a superfície do solo, após a sua senescênciia (Berg & Ekbohm, 1983).

À profundidade de amostragem de 10-20 cm ocorreu imobilização de N [NH_4^+] simultaneamente nas duas áreas de amostragem, em Maio e Novembro de 2001, e em Abril e Maio de 2002. Observou-se igualmente imobilização de N amoniacal na amostragem de Setembro de 2001 nas áreas e na amostragem de Fevereiro de 2002 nas áreas SC (Figura 3.4.4 e Anexo 3.4.5). As quantidades de NH_4^+ mineralizado mais elevadas não ocorreram preferencialmente numa das áreas de amostragem, mas nas três datas de amostragem em que se observaram diferenças significativas, em duas delas os valores mais elevados observaram-se nas áreas SC (Anexo 3.4.5).

À profundidade de 10-20 cm não se observaram, em nenhuma das áreas de amostragem, correlações entre a amonificação líquida e a temperatura do ar e do solo e entre a amonificação e o teor de humidade do solo. A correlação entre a amonificação e a quantidade de precipitação acumulada, nos intervalos de amostragem, apenas foi observada nas áreas FC, e para a quantidade de precipitação acumulada nos 5 dias anteriores à amostragem ($r=0,271$; $p<0,05$). O valor do coeficiente de determinação da regressão linear simples entre a amonificação e este parâmetro climático foi muito pouco expressivo ($R^2=0,07$; $p<0,05$).

Em ambas as áreas de amostragem a quantidade de N- NH_4^+ produzida apresentou correlações negativas com o seu teor inicial no solo, embora mas fortes nas áreas FC ($r=-0,749$; $p<0,001$) do que nas áreas SC ($r=-0,364$; $p<0,01$).

O número de amostragens em que se observou imobilização de N [NO_3^-] na profundidade de 10-20 cm, foi metade do observado para a amonificação à mesma profundidade, e em nenhuma delas a imobilização ocorreu simultaneamente nas duas áreas. Nas áreas FC observou-se imobilização de N [NO_3^-] na primeira quinzena de Outubro

de 2001 e em Fevereiro de 2002, e nas áreas SC apenas em Março de 2002 (Figura 3.3.4 e Anexo 3.4.6).

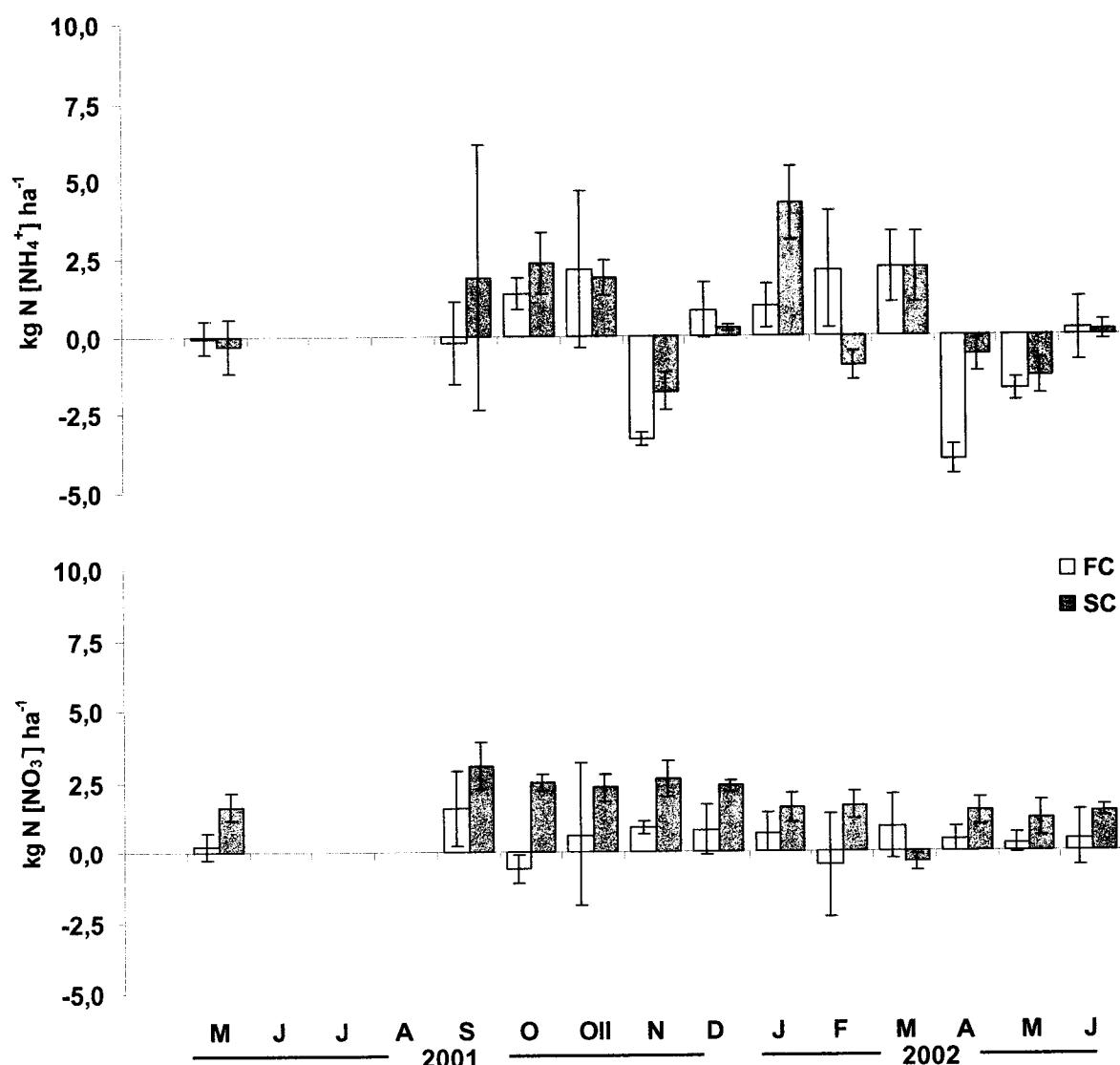


Figura 3.4.4 Mineralização de N *in situ* ($\text{kg N } [\text{NH}_4^+]$ e $\text{N } [\text{NO}_3^-] \text{ ha}^{-1}$) do solo, à profundidade de 10-20 cm, das áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*, de Maio de 2001 a Junho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=5$) e as barras indicam o erro padrão.

De modo análogo ao observado na profundidade de 0-10 cm, a nitrificação líquida na profundidade de 10-20 cm foi superior nas áreas SC e em 92% das amostragens, ocorrendo igualmente nestas áreas os valores significativamente mais elevados (Anexo 3.4.6). Apenas se obtiverem correlações entre a nitrificação à profundidade de 10-20 cm e a temperatura média do ar e do solo, nos intervalos de amostragem nas áreas SC ($r=0,303$; $p<0,01$ e $r=0,299$; $p<0,05$), tendo sido ainda estabelecido regressões lineares simples entre a

nitrificação e cada um desses dois parâmetros, embora com um $R^2=0,09$ ($p<0,05$) muito pouco expressivo.

Quer a precipitação acumulada no intervalo das amostragens, quer o teor de humidade do solo, não apresentaram correlações com a nitrificação, em qualquer uma das áreas de amostragem. A quantidade de N [NO₃] produzida nas áreas FC correlacionou-se inversamente com o seu teor inicial no solo ($r=-0,561$; $p<0,001$).

O reduzido ou mesmo nulo valor das correlações estabelecidas entre a quantidade de N mineralizado (N [NH₄⁺] e N [NO₃]) nas duas áreas de amostragem e os diferentes parâmetros climáticos poderão ser explicados pelo facto de que, em resultado da metodologia utilizada, as condições de temperatura e humidade dentro dos tubos de incubação serão diferentes das verificadas fora destes, as quais tenderão a apresentar um padrão muito mais variável do que aquele que ocorrerá no seu interior (Pastor *et al.*, 1984; Gonçalves & Carlyle, 1994; Abril *et al.*, 2001).

A quantidade de N [NH₄⁺] produzido durante o período de estudo foi de 84,28 kg ha⁻¹ nas áreas fora da copa e de 74,21 kg ha⁻¹ nas áreas do sob coberto, dos quais, e respectivamente, apenas 0,46 e 7,84 kg ha⁻¹ correspondem à amonificação na segunda profundidade de amostragem. A amonificação foi portanto superior nas áreas fora copa mas fundamentalmente em resultado da observada na camada 0-10 cm (Anexo 5)

A quantidade de N [NO₃] produzido no mesmo período foi de 44,34 kg ha⁻¹ nas áreas fora da copa e de 92,48 kg ha⁻¹ nas áreas do sob coberto, dos quais, e respectivamente, 5,76 e 21,27 kg ha⁻¹ foram produzidos na profundidade de 10-20 cm. O N nítrico produzido nas áreas do sob coberto da azinheira foi mais do dobro do produzido fora da acção da sua copa, o que se reflectiu no contributo desta forma de N na mineralização de azoto, que foi de 55% nas áreas do sob coberto e de apenas 33% nas áreas fora da copa.

A mineralização acumulada de N foi de 128,62 kg ha⁻¹ no solo das áreas fora da copa e de 166,69 kg ha⁻¹ nas áreas do sob coberto, dos quais, e respectivamente, apenas 6,23 e 29,11 kg ha⁻¹ correspondem à mineralização acumulada entre 10 e 20 cm de profundidade (Figura 3.4.5). Embora a mineralização acumulada de N tenha sido ligeiramente superior nas áreas do sob coberto, no final de Março, cerca de 83% do N acumulado tinha sido mineralizado nas duas áreas.

O facto das maiores taxas de mineralização de N terem sido verificadas na profundidade de 0-10 cm está de acordo com o observado em outros estudos de

mineralização de N (Patra *et al.*, 1999); todavia Rovira & Vallejo (1997) sugerem que em condições mediterrânicas as elevadas taxas observadas se devem principalmente à grande quantidade e qualidade de matéria orgânica do solo à profundidade de 0-10 cm, que compensarão os constrangimentos pedoclimáticos, que serão menos importantes ou mesmo inexistentes à profundidade de 10-20cm.

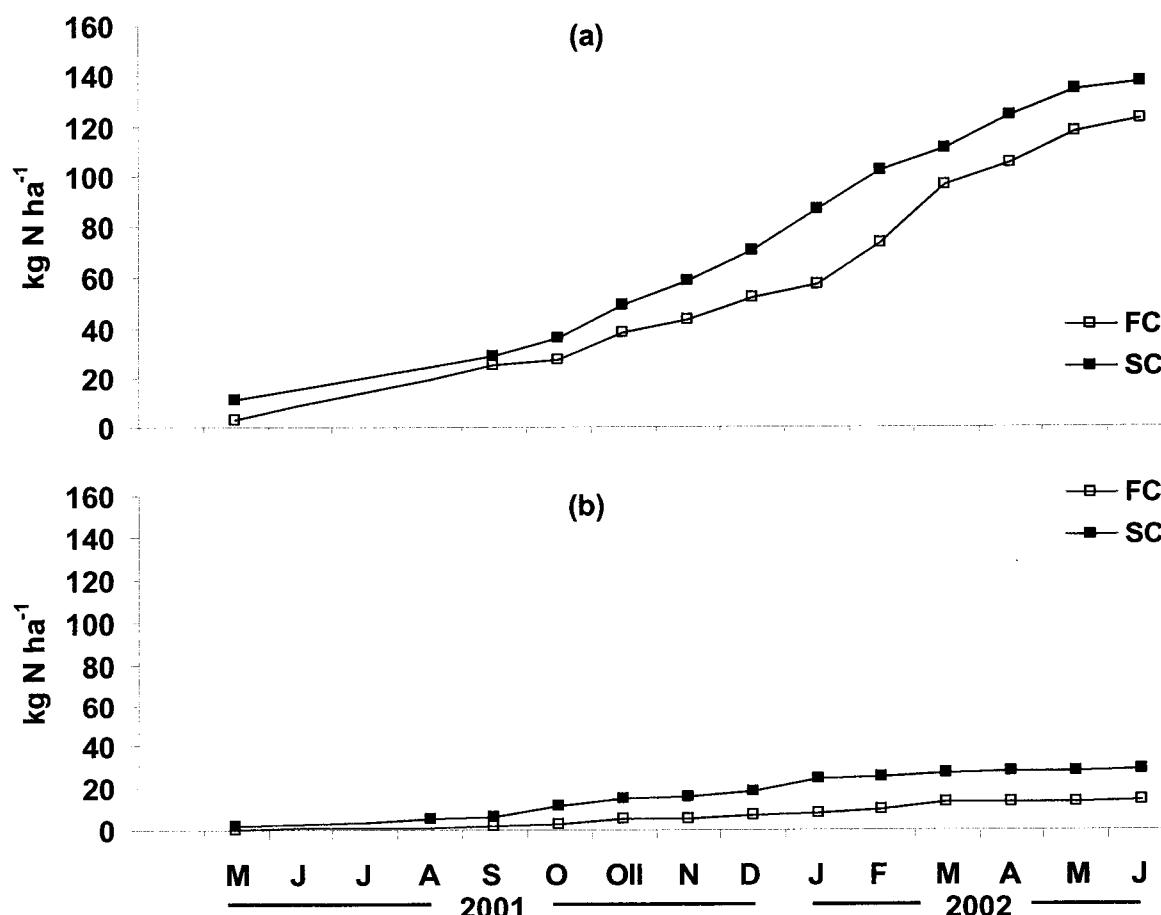


Figura 3.4.5 Mineralização acumulada de N ($\text{N}[\text{NH}_4^+]$ + $\text{N}[\text{NO}_3^-]$) *in situ* (kg ha^{-1}) no solo, à profundidade de (a) 0-10 cm e (b) 10-20 cm, das áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*, de Maio de 2001 a Junho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=5$).

Ao expressar-se a quantidade de N mineralizado em relação ao N total do solo, isto é, ao considerar-se a mineralização específica, verificou-se que a diferença entre os valores da mineralização das duas áreas foi semelhante à profundidade de 0-10 cm, isto é a quantidade de N mineralizado por unidade de N total do solo foi igual nas duas áreas ($0,09 \text{ kg N kg}^{-1}$ de N). Na profundidade de 10-20 cm a diferença manteve-se, tendo sido a mineralização específica de $0,01 \text{ kg N kg}^{-1}$ de N, nas áreas FC, e de $0,03 \text{ kg N kg}^{-1}$ de N nas áreas SC. Este dado sugere que à profundidade de 10-20 cm as condições de mineralização serão mais favoráveis no sob coberto do que nas áreas fora deste. Esta

vantageira poderá ser atribuída à existência, nesta profundidade do solo do sob coberto, ao contrário das restantes áreas, de pelo menos uma das seguintes características: melhores condições de temperatura e umidade; uma população microbiana maior e mais eficiente ou um substrato mais facilmente mineralizável.

3.4.2.3 Lixiviação de N ($\text{N}[\text{NH}_4^+]$) e N (NO_3^-)

O padrão de lixiviação de N (NH_4^+) e de N (NO_3^-) no solo, para além de 20 cm de profundidade, variou para cada uma destas duas formas de N como seria de esperar considerando a diferente capacidade de fixação ao solo de cada um deles (Brady & Weill, 1999). No entanto, além das previsíveis diferenças quanto ao padrão apresentado por cada uma delas, verificou-se ainda que as duas formas apresentaram padrões diferenciados consoante as áreas de amostragem (Figura 3.4.6; Anexos 3.4.7 a 3.4.9).

A lixiviação do N (NH_4^+) nas áreas FC apenas apresentou valores positivos na amostragem da segunda quinzena de Outubro de 2001 e na amostragem de Maio de 2002, enquanto nas áreas SC os valores de lixiviação foram positivos nas amostragens de Outubro e Novembro de 2001 e de Fevereiro, Abril e Maio de 2002. Todavia, os valores de N amoniacial lixiviado nas diferentes áreas não diferiram significativamente em nenhuma das datas de amostragem (Anexo 3.4.8).

A quantidade de N (NH_4^+) lixiviado em ambas as áreas de amostragem, não apresentou correlações significativas, quer com a quantidade de precipitação acumulada, quer com o teor de umidade do solo, quer ainda com a temperatura do solo. Apenas se correlacionou significativamente com a temperatura do ar ($r=0,220$; $p<0,05$).

Nas áreas FC observaram-se correlações entre a lixiviação do N (NH_4^+) e a sua disponibilidade em cada período de amostragem ($r=0,246$; $p<0,05$).

Os valores da lixiviação do N (NO_3^-) das diferentes amostragens à profundidade de 0-20 cm foram maioritariamente positivos, o que se explica pela maior susceptibilidade desta forma de N à lixiviação no solo, verificando-se no entanto uma menor frequência de valores positivos nas áreas SC do que nas áreas FC. Além disso, na grande maioria das datas de amostragem os valores de lixiviação foram menores nas áreas SC do que nas FC.

A quantidade de N (NO_3^-) lixiviado apenas apresentou diferenças significativas entre as duas áreas, nas amostragens de Setembro e da primeira quinzena de Outubro de 2001 (Anexo 3.4.9).

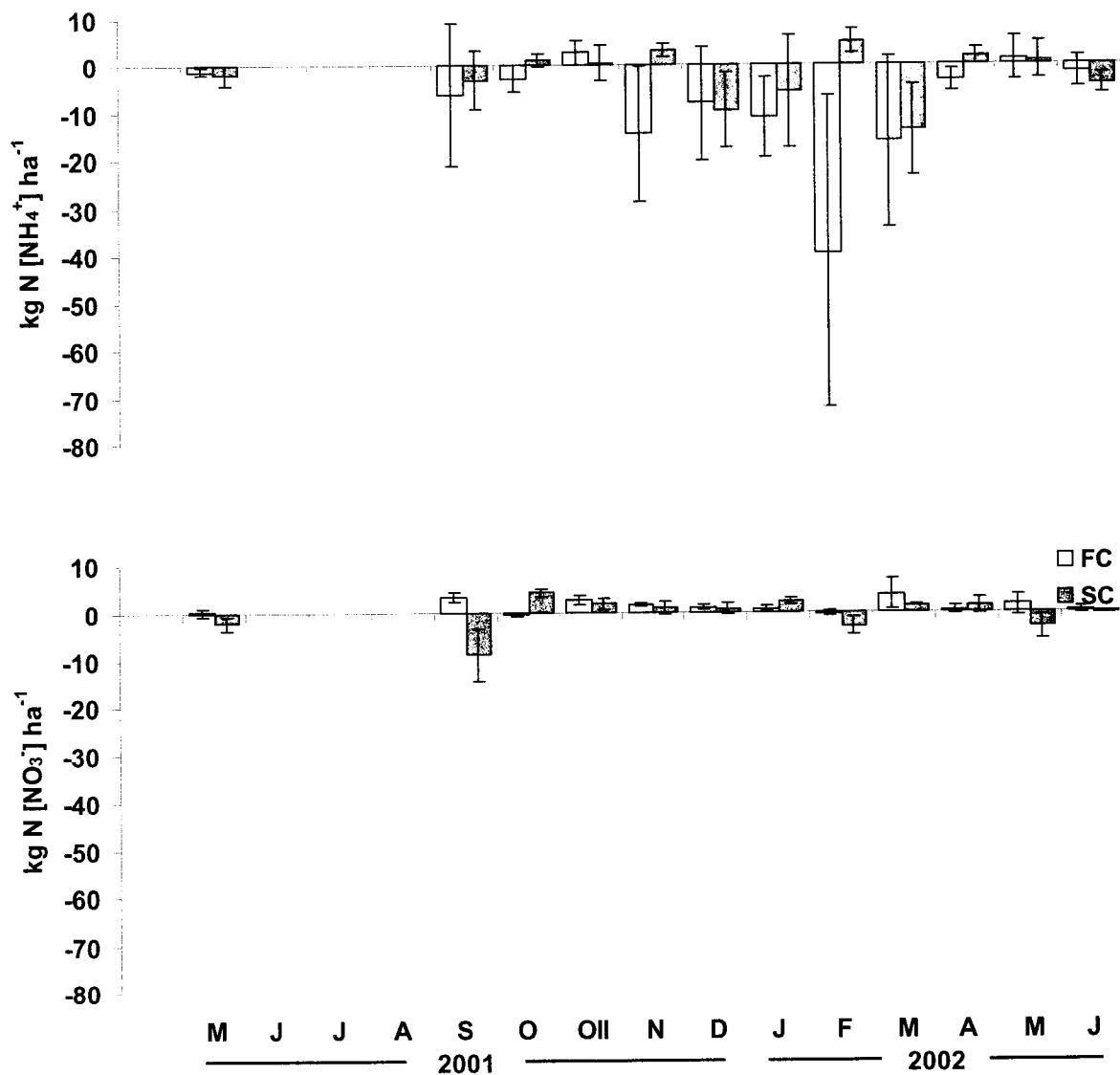


Figura 3.4.6 Lixiviação de N *in situ* ($\text{kg N } [\text{NH}_4^+]$ e $\text{N } [\text{NO}_3^-] \text{ ha}^{-1}$) para além de 20 cm de profundidade do solo das áreas sob (SC) e fora (FC) da copa de *Q. rotundifolia*, de Maio de 2001 a Junho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=5$) e as barras indicam o erro padrão.

Nas áreas SC obtiveram-se correlações significativas entre a quantidade de $\text{N } [\text{NO}_3^-]$ lixiviado com quantidade de precipitação acumulada nos 10 dias anteriores à data de amostragem ($r=0,259$; $p<0,05$) e com o teor de humidade do solo ($r=0,318$; $p<0,01$). Esta última correlação identificou a existência de uma regressão linear embora com um coeficiente de determinação baixo ($R^2=0,10$; $p<0,05$). A lixiviação de N nítrico não apresentou correlações com os parâmetros climáticos para as áreas FC

Nas áreas FC obteve-se uma forte correlação entre a lixiviação do $\text{N } [\text{NO}_3^-]$ e a sua disponibilidade ($r=0,661$; $p<0,001$), não se observando qualquer correlação com disponibilidade ou teor de qualquer uma das formas de N nas áreas SC.

A lixiviação do N $[NH_4^+]$ não apresentou um padrão marcado conforme ficou evidenciado pela ausência de correlações com os parâmetros climáticos, e pelas reduzidas ou mesmo nulas correlações com a disponibilidade desta forma de N no solo. A menor susceptibilidade desta forma de azoto à lavagem conjugada com o facto de o N amoniacial funcionar como fonte à nitrificação ajudaram a explicar o facto de apenas pontualmente se ter verificado lixiviação de N $[NH_4^+]$ e em quantidades menores do que as do N $[NO_3^-]$.

Tal como resulta das relações estabelecidas com os parâmetros climáticos e com a disponibilidade do N nítrico no solo, especialmente nas áreas SC, a lixiviação desta forma de azoto ocorreu preferencialmente quando se conjugou uma maior disponibilidade de N $[NO_3^-]$ no solo com a ocorrência de precipitação, ou seja no Outono e na Primavera, o que está de acordo com o observado por Serrasolse et al. (1999) em estudos efectuados em bosques de *Q. ilex* na Catalunha.

Nas amostragens durante o período Outono-Inverno em que os valores da lixiviação são inferiores à diferença entre o N mineralizado e o N absorvido, dada a reduzida absorção de azoto pela vegetação que ocorre normalmente durante esse período, o N remanescente poderá ter tido como destino a biomassa microbiana (Jackson et al., 1988). Embora nos ecossistemas temperados a biomassa microbiana atinja o seu valor máximo na Primavera e no Verão e o seu mínimo no Inverno, em resultado das diferenças de temperatura, nos ecossistemas mediterrânicos o padrão da precipitação será mais importante do que o da temperatura, dado a relevância da humidade na regulação da biomassa microbiana, levando a que o seu valor máximo ocorra no Inverno (Gallardo et al., 2000).

A quantidade de N $[NH_4^+]$ e de N $[NO_3^-]$ lixiviada durante o período de estudo foi, respectivamente, de 6,07 e 15,16 kg ha⁻¹ nas áreas fora da copa e de 10,85 e 12,38 kg ha⁻¹ nas áreas do sob coberto, tendo a quantidade de N lixiviado sido ligeiramente superior nas áreas SC.

Embora as quantidades de N lixiviado observadas no presente estudo, tenham sido entre 1,5 a 2 vezes superiores às observadas em estudos realizados em bosques de *Q. ilex* (Rapp, 1990; Serrasolse et al., 1999), corresponderam apenas entre 14-17 % da quantidade de N mineralizado, enquanto no trabalho de Serrasolse et al. (1999) a quantidade de N lixiviado correspondeu a cerca de 50% do N mineralizado. Podemos portanto considerar que o montado objecto de estudo constitui um sistema bastante conservador quanto ao N reduzindo as perdas deste ao mínimo.

3.4.2.4 Absorção de N ($\text{N}[\text{NH}_4^+]$ e $\text{N}[\text{NO}_3^-]$)

Na absorção de N ($\text{N}[\text{NH}_4^+]$ e $\text{N}[\text{NO}_3^-]$), tal como para a lixiviação, verificaram-se amostragens com valores negativos, embora em muito menor número (Figura 3.4.7 e 3.4.8, Anexos 3.4.10 a 3.4.12). Segundo Azevedo (2001) esta ocorrência não assume qualquer significado biológico, resultando apenas de factores metodológicos devido à acumulação de $\text{N}[\text{NH}_4^+]$.

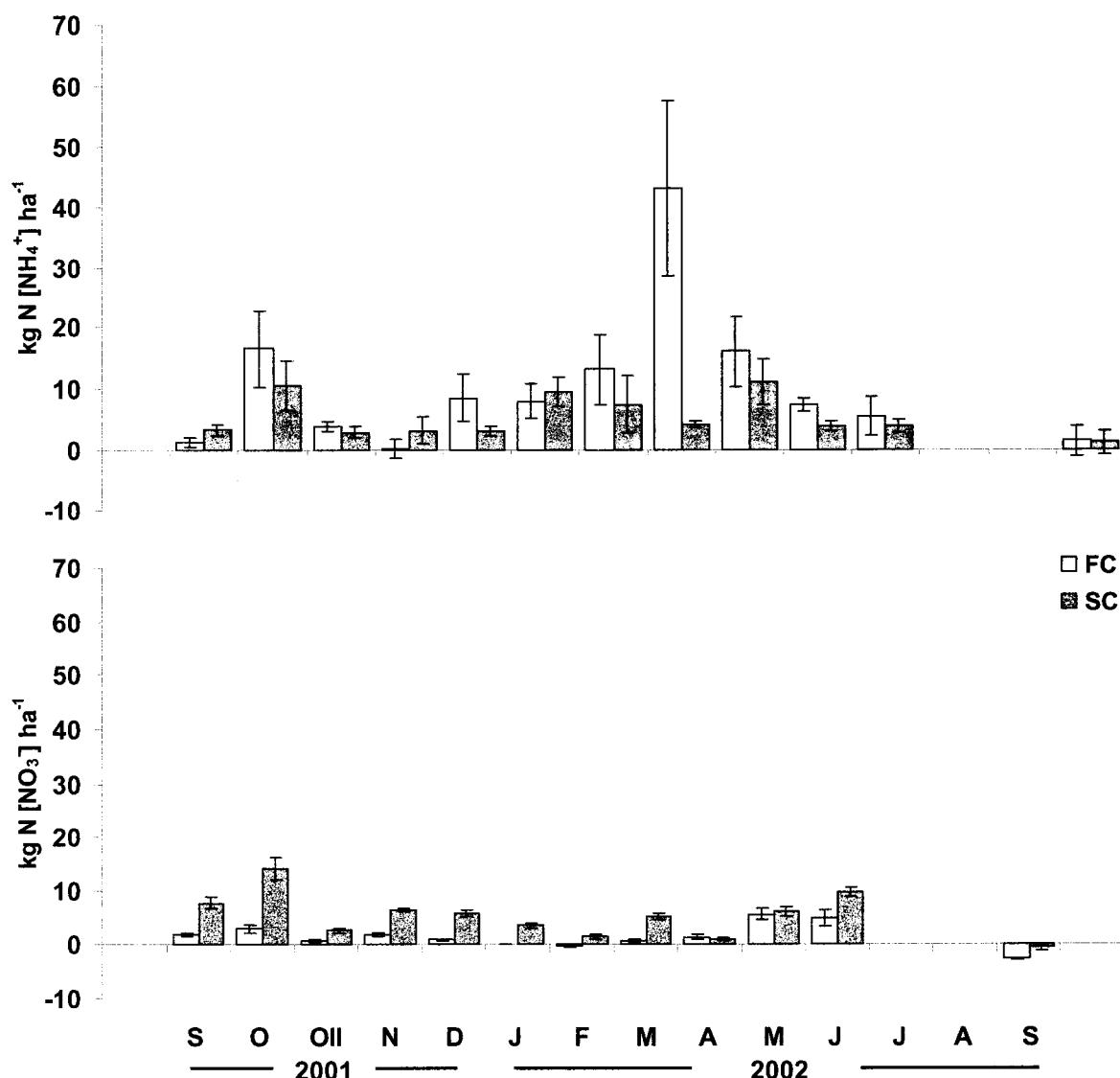


Figura 3.4.7 Absorção de N *in situ* ($\text{kg N}[\text{NH}_4^+]$ e $\text{N}[\text{NO}_3^-]$ ha^{-1}), à profundidade de 0-10 cm, do solo das áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*, de Maio de 2001 a Junho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=5$) e as barras indicam o erro padrão.

O padrão de absorção do N $[NH_4^+]$ e do N $[NO_3^-]$ no solo variou para cada uma destas duas formas de N como seria de esperar considerando os diferentes teores no solo de cada uma destas formas de N (Figuras 3.4.1 e 3.4.2, Anexos 3.4.1 a 3.4.3). Observou-se ainda que a absorção NH_4^+ e de NO_3^- variou consoante as áreas de amostragem se encontravam sob (SC) ou fora (FC) da acção do solo coberto arbóreo (Figura 3.4.7 e 3.4.8, Anexos 3.4.10 a 3.4.12).

A quantidade de N $[NH_4^+]$ absorvida à profundidade de 0-10 cm foi entre 23 e 10 vezes superior à quantidade absorvida à profundidade 10-20 cm, consoante as áreas de amostragem. Nas áreas FC a quantidade de N $[NH_4^+]$ absorvida ($125,65 \text{ kg ha}^{-1}$) foi superior à absorvida nas áreas do solo coberto ($65,17 \text{ kg ha}^{-1}$).

Observaram-se três máximos de absorção de N $[NH_4^+]$ à profundidade de 0-10 cm, um nas áreas SC, outro nas áreas FC e um terceiro simultaneamente nas duas. O primeiro, de menor amplitude, ocorreu no mês de Dezembro de 2001, enquanto os outros dois, de maiores dimensões, ocorreram nos meses de Março e Abril de 2002.

Na profundidade de 0-10 cm apenas se observaram diferenças significativas nas amostragens de Março e Maio de 2002, verificando-se que de um modo geral os maiores valores de absorção ocorrem nas áreas FC (Anexo 3.4.11).

A absorção de N amoniacal estabeleceu correlações negativas com temperatura média do ar e do solo durante os intervalos de amostragem, apenas nas áreas FC ($r=-0,428$; $p<0,001$ e $r=-0,385$; $p<0,01$). As regressões lineares simples determinadas entre a absorção e cada um desses dois parâmetros, apenas explicaram cerca de 18 e 15% da variabilidade ($R^2=0,18$ e $R^2=0,15$; $p<0,05$) observada na absorção do N $[NH_4^+]$ à profundidade de 0-10 cm.

A correlação entre a absorção e a precipitação, só foi significativa para a quantidade de precipitação acumulada nos 5 dias anteriores à amostragem, e exclusivamente nas áreas FC ($r=0,375$; $p<0,01$). A respectiva regressão linear simples obtida apresentou um coeficiente de determinação pouco expressivo $R^2=0,14$; $p<0,05$. Com o teor de humidade no solo também só se observou correlação nas áreas FC ($r=0,224$; $p<0,001$), apresentando a respectiva regressão linear simples um coeficiente de determinação ainda mais baixo ($R^2=0,05$; $p<0,05$).

Em ambas as áreas de amostragem a quantidade de N $[NH_4^+]$ absorvida não se correlacionou com o seu teor inicial no solo, observando-se nas áreas FC correlação positiva com a disponibilidade no solo desta forma de N ($r=0,477$; $p<0,001$).

Tal como para o N $[NH_4^+]$, a quantidade de N $[NO_3^-]$ absorvida à profundidade 0-10cm foi superior à quantidade absorvida à profundidade 10-20 cm, embora a diferença não tenha

sido tão evidente; apenas entre cerca de 3 e 5 vezes maior, respectivamente, para as áreas sob e fora do coberto de *Q. rotundifolia*. Nas áreas FC a quantidade de NO_3^- absorvida ($18,15 \text{ kg ha}^{-1}$) foi inferior à quantidade de NO_3^- absorvida nas áreas SC ($62,93 \text{ kg ha}^{-1}$), mantendo-se este padrão em cada uma das profundidades amostradas, em qualquer uma das áreas.

Na absorção de N [NO_3^-] observaram-se igualmente três máximos à profundidade de 0-10 cm, todos nas áreas SC. Ocorreram nos meses de Setembro e Outubro de 2001 (primeira quinzena) e Junho de 2002, sendo o mais expressivo dos três o de Outubro de 2001. Os dois primeiros picos de absorção terão resultado de condições diferenciadas apesar da sua aparente proximidade temporal: o primeiro ter-se-á devido essencialmente à maior duração do período de amostragem, isto é, reflectiu a quantidade de N [NO_3^-] absorvida desde finais de Maio a finais de Setembro de 2001 (4 meses); o segundo poderá reflectir a resposta da vegetação às primeiras chuvas Outonais conjugadas com temperaturas ainda favoráveis. O pico de Junho de 2002 poderá resultar tanto da ocorrência de uma maior disponibilidade de N [NO_3^-] e condições mais favoráveis ao processo de absorção no sob coberto, nesse período, como de uma sobreestimação do valor de absorção inerente ao método utilizado.

Até 10 cm de profundidade, apenas as amostras de Abril e Maio de 2002 não apresentaram diferenças significativas, meses em que os valores de absorção do N nítrico nas áreas do sob coberto e fora deste foram muito próximos. Nas restantes datas, os valores de absorção de N [NO_3^-] foram significativamente mais elevados nas áreas SC (Anexo 3.4.12).

Nas áreas FC observaram-se correlações entre a absorção de N [NO_3^-] e a quantidade de precipitação acumulada nos intervalos de amostragem ($r=0,483$; $p<0,001$) bem como com a quantidade de precipitação acumulada nos 5 dias anteriores à amostragem ($r=0,371$; $p<0,01$). Para além da regressão linear simples entre a absorção e cada um desses parâmetros ($R^2=0,23$ e $R^2=0,14$; $p<0,05$) foi ainda possível estabelecer uma correlação múltipla com as quantidades de precipitação acumulada nesses dois períodos, que explicava mais de 30% da variabilidade ($R^2=0,32$; $p<0,05$).

Nas áreas SC as correlações obtidas foram entre a absorção de N- NO_3^- e a quantidade de precipitação acumulada nos 5 dias anteriores à amostragem ($r=-0,246$; $p<0,001$), e entre a absorção e o teor de humidade do solo ($r=-0,257$; $p<0,05$), ambas negativas. As regressões lineares simples entre a absorção e cada um desses parâmetros foram praticamente residuais ($R^2=0,06$ e $R^2=0,07$; $p<0,05$). No entanto, a regressão múltipla estabelecida entre a absorção, a temperatura e o teor de humidade do solo, explicou mais de 50% da variabilidade ($R^2=0,56$; $p<0,05$).

Em ambas as áreas de amostragem, a quantidade absorvida de N nítrico correlacionou-se fortemente com a sua disponibilidade no solo ($r=0,79$; $p<0,05$ e $r=0,737$; $p<0,001$). A correlação entre a absorção N $[NO_3^-]$ e o seu teor no solo, no início das amostragens, apenas se observou e de forma negativa nas áreas FC ($r=-0,243$; $p<0,05$), enquanto nas áreas SC a correlação verificou-se relativamente à concentração inicial do N $[NH_4^+]$ ($r=0,55$; $p<0,001$).

A quantidade de N $[NH_4^+]$ absorvido à profundidade 10-20 cm, apesar do elevado número de amostragens com valores negativos, foi tendencialmente superior nas áreas SC. Todavia, os valores de absorção só foram significativamente diferentes nas amostragens de Março e Setembro de 2002, com a maior absorção de NH_4^+ a ocorrer, respectivamente, nas áreas FC e nas áreas SC (Anexo 3.4.11).

Nas áreas FC a quantidade de N $[NH_4^+]$ absorvida ($5,49 \text{ kg ha}^{-1}$) foi inferior à absorvida nas áreas do sob coberto ($6,65 \text{ kg ha}^{-1}$), invertendo o padrão observado na profundidade 0-10 cm. A quantidade de N $[NH_4^+]$ absorvido à profundidade 10-20 cm apresentou correlação negativa com a precipitação e o teor de humidade do solo. Nas áreas FC a correlação observou-se exclusivamente com a precipitação acumulada durante o período de amostragem ($r=-0,231$; $p<0,05$), enquanto nas áreas SC se observou a existência de correlação, quer individualmente com todas as quantidades de precipitação consideradas ($r=-0,251$; $p<0,05$, $r=-0,252$; $p<0,05$ e $r=-0,434$; $0,001$), quer com o teor de humidade do solo ($r=-0,5419$; $p<0,001$). As regressões lineares simples estabelecidas entre a quantidade de N amoniacal absorvido e esses parâmetros, apenas apresentaram coeficientes de determinação com algum significado para a quantidade de precipitação acumulada nos 5 dias anteriores à amostragem ($R^2=0,18$; $p<0,05$) e para o teor de humidade do solo ($R^2=0,27$; $p<0,05$). A disponibilidade de N $[NH_4^+]$ em cada período de amostragem correlacionou-se com a quantidade absorvida apenas nas áreas SC ($r=-0,247$; $p<0,05$).

A quantidade de N $[NO_3^-]$ absorvido na camada de 10-20 cm foi superior nas áreas SC relativamente às áreas FC, excepto na amostragem de Abril de 2002, totalizando respectivamente 24,30 e $3,74 \text{ kg ha}^{-1}$. O padrão das diferenças significativas foi idêntico ao observado até à profundidade de 10 cm, verificando-se, para além das duas amostragens aí referidas, a não existência de diferenças significativas na amostragem de Julho de 2002 (Anexo 3.4.12).

A quantidade de N $[NO_3^-]$ absorvido em qualquer das áreas só se correlacionou com o teor de humidade do solo ($r=0,278$ e $r=0,228$; $p<0,05$). No entanto, a absorção nas áreas FC manifestou uma regressão linear múltipla com a temperatura do ar e o teor de humidade do solo, com um $R^2=0,25$, para $p<0,05$.

Nas áreas SC obteve-se uma correlação entre a absorção de N [NO_3^-] e o seu teor no solo no início de cada amostragem ($r=0,269$; $p<0,05$), bem como, entre aquela e a disponibilidade N [NO_3^-] ($r=0,408$; $p<0,05$).

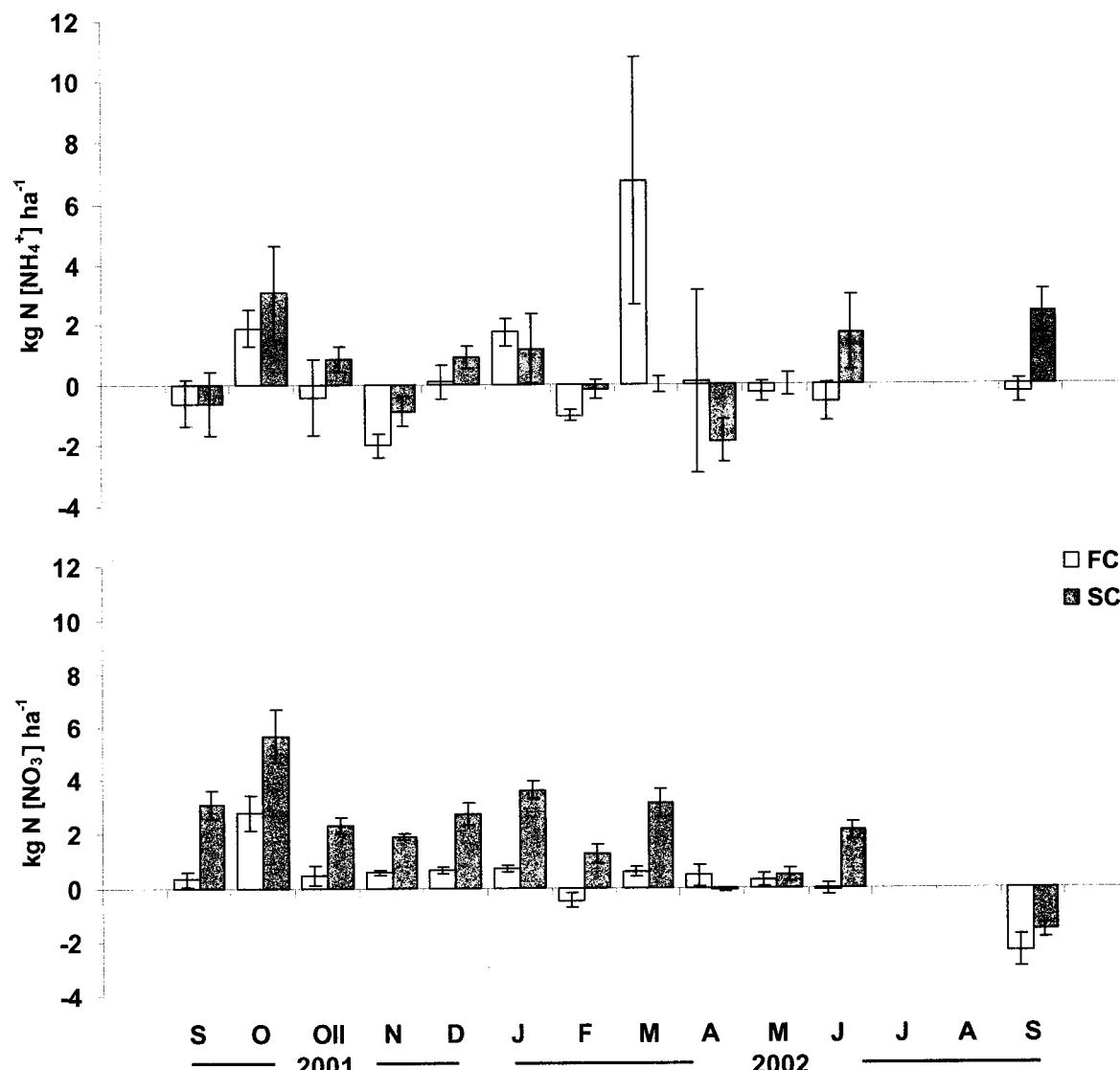


Figura 3.4.8 Absorção *in situ* ($\text{kg N} [\text{NH}_4^+]$ e $\text{N} [\text{NO}_3^-]$ ha^{-1}) na profundidade de 10-20 cm do solo das áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*, de Maio de 2001 a Junho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=5$) e as barras indicam o erro padrão.

Os valores de absorção de N estimados para as diferentes áreas de amostragem foram superiores aos valores da mineralização, o que poderá ter resultado da grande variabilidade encontrada nas amostragens (Anexos 3.4.10 a 3.4.12). Dada a heterogeneidade da vegetação do local, com ocorrência de algumas espécies arbustivas, poderá ter ocorrido uma sobreavaliação da absorção, principalmente nas áreas FC. Por

outro lado, a metodologia utilizada, em resultado das condições menos variáveis dentro do tubo de incubação, poderá ter originado uma maior acumulação de N [NH_4^+], do que aquela que ocorreria em situação natural com ausência de absorção, levando assim a um maior diferença entre a situação dentro e fora do tubo (Abril *et al.*, 2001). O mesmo autor refere ainda que a metodologia de incubação sequencial *in situ*, poderá por vezes subestimar a nitrificação uma vez que a população microbiana nitrificante se encontra limitada a um estreito intervalo de condições de solo.

3.4.2.5 Mineralização do N (N [NH_4^+] e N [NO_3^-]) do solo em situação controlada

3.2.4.5.1 *Incubação aeróbia*

Em condições de aerobiose, o padrão da mineralização do N [NH_4^+] foi quase sempre semelhante para a totalidade das amostras das duas áreas em estudo, qualquer que fosse a profundidade e data de amostragem consideradas. Apenas se observaram diferenças significativas entre as quantidades de N amoniacal produzido nas duas áreas de amostragem, nas amostras colhidas na profundidade de 10-20 cm em Dezembro de 2001, após períodos de incubação de 30 e 60 dias (Figuras 3.4.9 e 3.4.10).

As quantidades de N [NH_4^+] produzidas ao fim de dois meses de incubação foram muito reduzidas, quer nas amostras colhidas em Abril, quer nas amostras colhidas em Dezembro. Nas amostras de solo do sob coberto (SC), as quantidades amonificadas foram de 2,56 e -1,30 mg kg⁻¹, respectivamente, para as colheitas de Abril e Dezembro, enquanto nas amostras de solo das áreas fora da copa (FC) as quantidades foram de, respectivamente, 0,04 e 1,08 mg kg⁻¹. Considerando a profundidade de colheita das amostras, observou-se que a quantidade de N amoniacal produzido a partir das amostras colhidas na camada 0-10 cm apresentou, ao fim de dois meses de incubação, valores positivos. Nas colheitas efectuadas em Abril, a quantidade de N [NH_4^+] no solo das áreas SC foi mais elevada do que a do solo das áreas FC, invertendo-se as posições para as colheitas efectuadas em Dezembro.

Nas amostras de solo colhidas nas duas áreas de estudo à profundidade de 10-20 cm, as quantidades N amoniacal produzidas ao fim de 60 dias de incubação foram negativas, mas menores em valor absoluto nas áreas FC do que nas áreas SC.

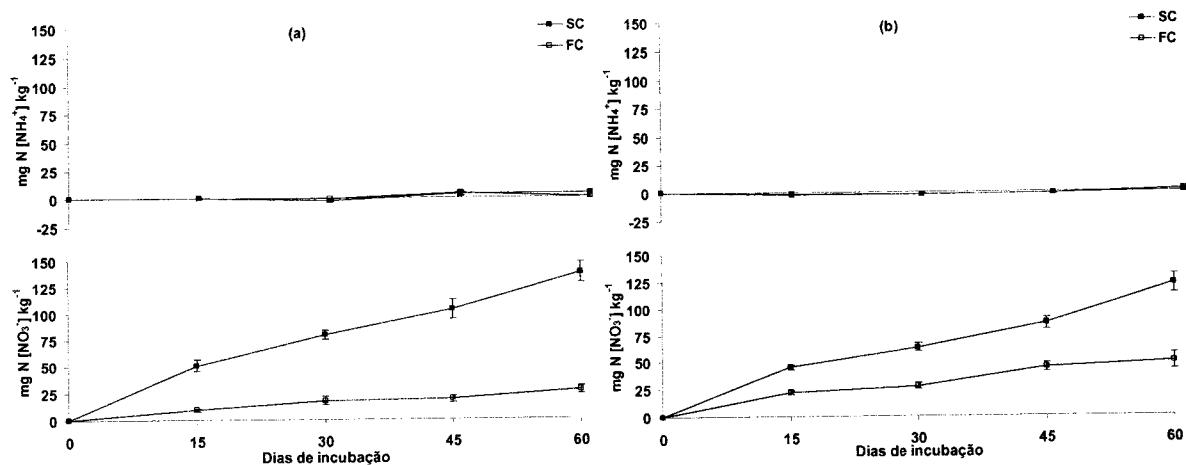


Figura 3.4.9 Mineralização de N ($\text{mg N } [\text{NH}_4^+]$ e $\text{mg N } [\text{NO}_3^-]$ kg^{-1}) por incubação aeróbia de amostras de solo, colhidas à profundidade de 0-10 cm, das áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*, em Abril (a) e Dezembro (b) de 2001. Os valores são a média ($n=8$) e as barras o erro padrão.

A mineralização de N [NO_3^-] em condições aeróbias foi sempre superior no solo das áreas do sob coberto de *Q. rotundifolia* (SC), relativamente ao das áreas fora da acção desta. Essa diferença foi mais acentuada nas amostras de solo colhidas em Abril do que nas colhidas em Dezembro, qualquer que fosse a profundidade considerada. (Figuras 3.4.9 e 3.4.10). Apenas os valores de N [NO_3^-] das amostras de solo colhidas em Abril na profundidade 10-20 cm, observados após 30 dias de incubação, não apresentaram diferenças significativas entre as duas áreas (SC e FC).

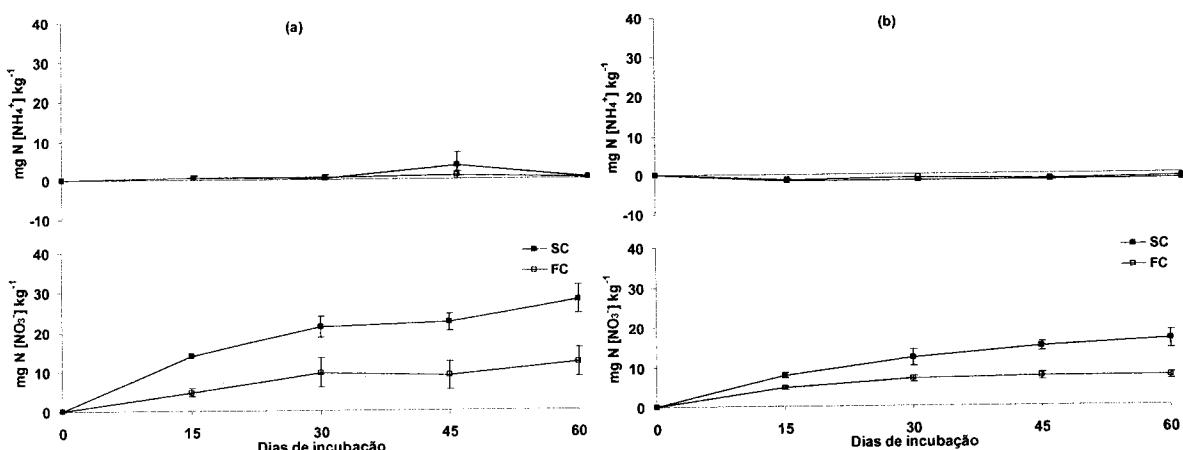


Figura 3.4.10 Mineralização de N ($\text{mg N } [\text{NH}_4^+]$ e $\text{mg N } [\text{NO}_3^-]$ kg^{-1}) por incubação aeróbia de amostras colhidas à profundidade de 10-20 cm, nas áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*, em Abril (a) e Dezembro (b) de 2001. Os valores correspondem à média ($n=8$) e as barras indicam o erro padrão.

A mineralização acumulada de N [NO_3^-] nas amostras colhidas em Abril e Dezembro de 2001, ao fim de 60 dias incubação, foi, respectivamente, de 165,35 e 138,58 mg kg^{-1} para

o solo das áreas SC e de 38,60 e 56,85 mg kg⁻¹ para o solo das áreas FC. A quantidade de N [NO₃⁻] mineralizado foi maior no solo das áreas do sob coberto do que no das áreas fora da copa. Por data de colheita das amostras e considerando a profundidade 0-20 cm, o solo do sob coberto colhido em Abril mineralizou mais N do que o colhido em Dezembro, enquanto no solo das áreas fora da copa a mineralização foi mais elevada na colheita de Dezembro. Por profundidade de colheita, o padrão anterior observou-se na profundidade 0-10 cm, enquanto na profundidade 10-20 cm a quantidade de N [NO₃⁻] mineralizado foi maior no solo colhido em Abril, independentemente da área de colheita.

Diversos autores atribuem os reduzidos valores de nitrificação observados durante o Inverno (cf. 3.4.2.2) à ocorrência simultânea neste período de baixas temperaturas e de condições menos favoráveis ao arejamento do solo (Harrison *et al.*, 1994; Whitehead, 1995). Os valores observados no presente estudo, em condições de temperatura e humidade constantes, apontaram para uma maior nitrificação a partir das amostras colhidas na Primavera, nas áreas SC e a partir das amostras colhidas no Inverno, nas áreas FC. Esta tendência sugere que, nas áreas do sob coberto, ocorrerão outros factores, para além das baixas temperaturas e do arejamento deficiente do solo, que expliquem os valores mais baixos observados a partir das amostras colhidas no Inverno. Gallardo *et al.* (2000) considera que, em sistemas do tipo montado, os *inputs* de matéria orgânica (MO) para o solo ocorrem principalmente na Primavera-Verão, pelo que, no Inverno se verificarão teores de MO lável no solo significativamente mais baixos, ficando assim limitada a actividade dos decompositores autotróficos e consequente produção de NH₄⁺ necessário à nitrificação.

A mineralização de N acumulada a partir da incubação com amostras colhidas em Abril e Dezembro de 2001 foi, respectivamente, de 167,91 e 137,28 mg kg⁻¹, para as provenientes das áreas do sob coberto e de 38,64 e 69,04 mg kg⁻¹, para as das áreas fora da copa. Estes valores realçam as diferenças observadas na mineralização observada nas duas áreas, principalmente nos valores obtidos a partir das amostras colhidas em Abril de 2001, em que a diferença entre as duas áreas é maior.

Os valores obtidos para a mineralização específica, ou seja, a quantidade de N mineralizado por unidade de N total do solo, estão de acordo com o observado para a mineralização aeróbia, com os valores das áreas SC a serem de um modo geral superiores aos das áreas FC. Nas amostras colhidas em Dezembro de 2001 a diferença entre os valores do sob coberto (SC) e do solo fora deste (FC) foram menos acentuadas e, à profundidade de 10-20 cm, a mineralização específica foi maior no solo colhido nas áreas FC (Quadro 3.4.3). Considerando que o processo de incubação aeróbia decorreu em condições de temperatura e humidade mais ou menos constantes, a explicação para a

variação observada terá de assentar noutros factores. Diversos autores (Laverman *et al.*, 2000; Giardina *et al.*, 2001; Theodose & Martin, 2003) sugerem que a qualidade do substrato e a composição e actividade da fauna do solo, são responsáveis em elevado grau pelas diferenças observadas na taxa de mineralização do azoto. Os dados da mineralização específica apontam no sentido de que, da colheita de Abril para a colheita de Dezembro, terá ocorrido no solo das áreas fora da acção da copa da árvore (FC) uma melhoraria na qualidade e disponibilidade do substrato bem como na composição da população de microorganismos do solo, enquanto no solo do sob coberto (SC) terá ocorrido uma deterioração destes factores.

Quadro 3.4.3 Valores da mineralização específica de N (kg N kg^{-1} N total) para as amostras colhidas à profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm, nas áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*, em Abril e Dezembro de 2001.

Mineralização específica (kg N kg^{-1} N total)		
	Abril	Dezembro
0-10 cm		
FC	0,03	0,06
SC	0,11	0,10
10-20 cm		
FC	0,02	0,03
SC	0,04	0,02

3.2.4.5.2 Incubação anaeróbia

Os valores de mineralização de N por incubação anaeróbia em laboratório, a 40 °C, foram superiores aos obtidos por incubação anaeróbia *in situ* (Quadros 3.4.4 e 3.4.5).

A quantidade de N mineralizado no solo do sob coberto (SC) foi sempre superior à mineralizada no solo fora deste (FC), independentemente do método de incubação anaeróbia utilizado ou do período de colheita das amostras. Na mineralização anaeróbia *in situ*, só se observaram diferenças significativas na profundidade de 0-10 cm, tanto no solo colhido em Abril como no colhido em Dezembro. Na incubação em estufa a 40 °C, os valores observados foram mais amplos, verificando-se diferenças significativas nas duas profundidades nas amostras de solo colhidas em Dezembro e na profundidade 10-20 cm para a colheita de Abril.

As incubações anaeróbias realizadas *in situ* com as amostras de solo colhidas em Abril tiverem, como resultado, valores de N mais elevados do que os obtidos a partir das amostras colhidas em Dezembro. Os valores da mineralização de N [NH_4^+] por incubação anaeróbia *in situ* foram geralmente superiores no solo do sob coberto (SC), relativamente

aos observados no solo das áreas fora da copa (FC). Na mineralização do N [NO₃⁻], o padrão observado foi o inverso (Quadro 3.4.4).

Quadro 3.4.4 Valores médios da mineralização de N (N [NH₄⁺] + N [NO₃⁻]), N [NH₄⁺] e N [NO₃⁻] (mg kg⁻¹) por incubação anaeróbia *in situ* de amostras colhidas à profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm, nas áreas sob (SC) e fora (FC) da copa de *Q. rotundifolia*, em Abril e Dezembro de 2001. Os valores são média (n=8) e desvio padrão (±).

	N [NH ₄ ⁺]		N [NO ₃ ⁻]		N [NH ₄ ⁺] + N [NO ₃ ⁻]	
	Abril	Dezembro	Abril	Dezembro	Abril	Dezembro
0-10 cm						
FC	2,22 * ±1,09	-1,00 * ±0,43	0,22 * ±0,27	-0,64 ±0,75	2,44 * ±1,01	-1,64 * ±0,85
SC	19,86 ±13,00	1,38 ±1,27	-1,75 ±1,56	-1,16 ±1,51	18,11 ±11,55	0,22 ±0,90
10-20 cm						
FC	1,27 ±1,29	-0,51 ±0,48	0,60 ±0,98	-1,00 * ±0,25	1,87 ±0,58	-1,51 ±0,54
SC	2,65 ±1,67	-0,70 ±0,40	0,20 ±0,49	-0,62 * ±0,40	2,85 ±1,21	-1,32 ±0,61

Valores com * na mesma data e profundidade correspondem a diferenças significativas (p<0,05) pelo teste U de Mann-Whitney.

Contrariamente ao observado nas incubações anaeróbias realizadas *in situ*, a quantidade de N obtido por incubação anaeróbia laboratorial a 40 °C, foi mais elevada no solo colhido em Abril do que no colhido em Dezembro. A quantidade de N [NH₄⁺] obtida por incubação anaeróbia em estufa a 40 °C nas amostras de solo do sob coberto (SC) foi superior à obtida nas amostras de solo das áreas fora da copa (FC), sendo que, apenas as amostras colhidas em Abril, à profundidade de 0-10 cm, apresentaram diferenças significativas. A quantidade de N [NO₃⁻] obtida por incubação anaeróbia em estufa a 40 °C nas amostras de solo das áreas fora da copa (FC) foi sempre significativamente maior, do que a observada nas amostras de solo do sob coberto (SC) (Quadro 3.4.5).

Os valores de mineralização específica em anaerobiose determinados neste estudo estão de acordo com o anteriormente verificado para a mineralização anaeróbia, sendo que os resultados obtidos para o solo das áreas SC foram sempre superiores aos das áreas FC. Nas amostras colhidas em Dezembro de 2001, a diferença entre os valores de incubação *in situ* do solo sob coberto (SC) e do solo fora deste (FC), foram em geral menos acentuadas que em Abril do mesmo ano. No entanto, na incubação anaeróbia em estufa a 40 °C de solo colhido à profundidade de 10-20 cm, as diferenças foram mais acentuadas em Dezembro (Quadro 3.4.3). Os dados obtidos indicam que, na incubação anaeróbia realizada *in situ*, o factor determinante para as diferenças observadas entre os dois momentos de incubação foi a menor temperatura do solo em Dezembro. Na incubação anaeróbia em estufa a 40 °C, dada a temperatura constante, a qualidade do substrato e a composição e actividade das bactérias do solo terão tido preponderância, ou seja, a qualidade do substrato e a população bacteriana anaeróbia terão favorecido a produção de N em Dezembro de forma mais

acentuada, no solo das áreas fora da copa (FC), à profundidade de 0-10 cm e no solo do sob coberto, à profundidade de 10-20 cm (Laverman *et al.*, 2000; Giardina *et al.*, 2001; Theodose & Martin, 2003).

Quadro 3.4.5 Valores da mineralização de N ($N [NH_4^+]$ + $N [NO_3^-]$), $N [NH_4^+]$ e $N [NO_3^-]$ ($mg\ kg^{-1}$) por incubação anaeróbia (a 40 °C) de amostras colhidas a 0-10 cm e 10-20 cm de profundidade do solo das áreas sob (SC) e fora (FC) da copa de *Q. rotundifolia*, em Abril e Dezembro de 2001. Os valores são média (n=8) e desvio padrão (\pm).

		$N [NH_4^+]$		$N [NO_3^-]$		$N [NH_4^+] + N [NO_3^-]$	
		Abril	Dezembro	Abril	Dezembro	Abril	Dezembro
0-10 cm							
FC	19,46 ±9,49	50,78* ±9,01	0,37* ±0,28	-0,32* ±0,49	19,83 ±9,44	50,45* ±9,26	
SC	68,55 ±46,43	99,43* ±15,48	-1,48* ±1,74	-0,54* ±2,64	67,07 ±47,96	98,89* ±17,10	
10-20 cm							
FC	1,32* ±1,24	4,32* ±4,28	3,30* ±0,68	0,93* ±0,87	4,62* ±1,19	5,24* ±3,46	
SC	14,84* ±3,61	19,45* ±4,26	0,16* ±0,44	-0,53* ±0,22	15,00* ±3,34	18,92* ±4,34	

Valores com * na mesma data e profundidade correspondem a diferenças significativas ($p<0,05$) pelo teste *U* de Mann-Whitney.

Quadro 3.4.6 Valores da mineralização específica de N ($kg\ N\ kg^{-1}\ N\ total$) por incubação anaeróbia *in situ* e a 40 °C, para as amostras colhidas à profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm, nas áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*, em Abril e Dezembro de 2001.

		Mineralização específica ($kg\ N\ kg^{-1}\ N\ total$)			
		Incubação anaeróbia <i>in situ</i>		Incubação anaeróbia (a 40 °C)	
		Abril	Dezembro	Abril	Dezembro
0-10 cm					
FC	0,003	0,000		0,02	0,06
SC	0,015	0,000		0,05	0,08
10-20 cm					
FC	0,003	0,000		0,01	0,01
SC	0,004	0,000		0,02	0,03

3.4.3 Efeito do sombreamento artificial na disponibilidade em azoto

3.4.3.1 Variação da concentração de N ($\text{N}[\text{NH}_4^+]$ e $\text{N}[\text{NO}_3^-]$) mineral no solo

No solo das áreas não sombreadas (RT), o teor de N amoniacal na profundidade 0-10 cm decresceu ao longo das diferentes datas de amostragem, enquanto no solo das áreas sombreadas artificialmente (RR) se observou um ligeiro acréscimo. O teor de $\text{N}[\text{NH}_4^+]$ do solo das áreas não sombreadas artificialmente (RT) foi superior ao do solo das áreas sombreadas (RR) durante os meses Abril e Maio, mas inferior nos meses de Junho e Julho. No entanto, não se detectaram diferenças significativas entre os referidos teores nas duas áreas de amostragem (Figura 3.4.11).

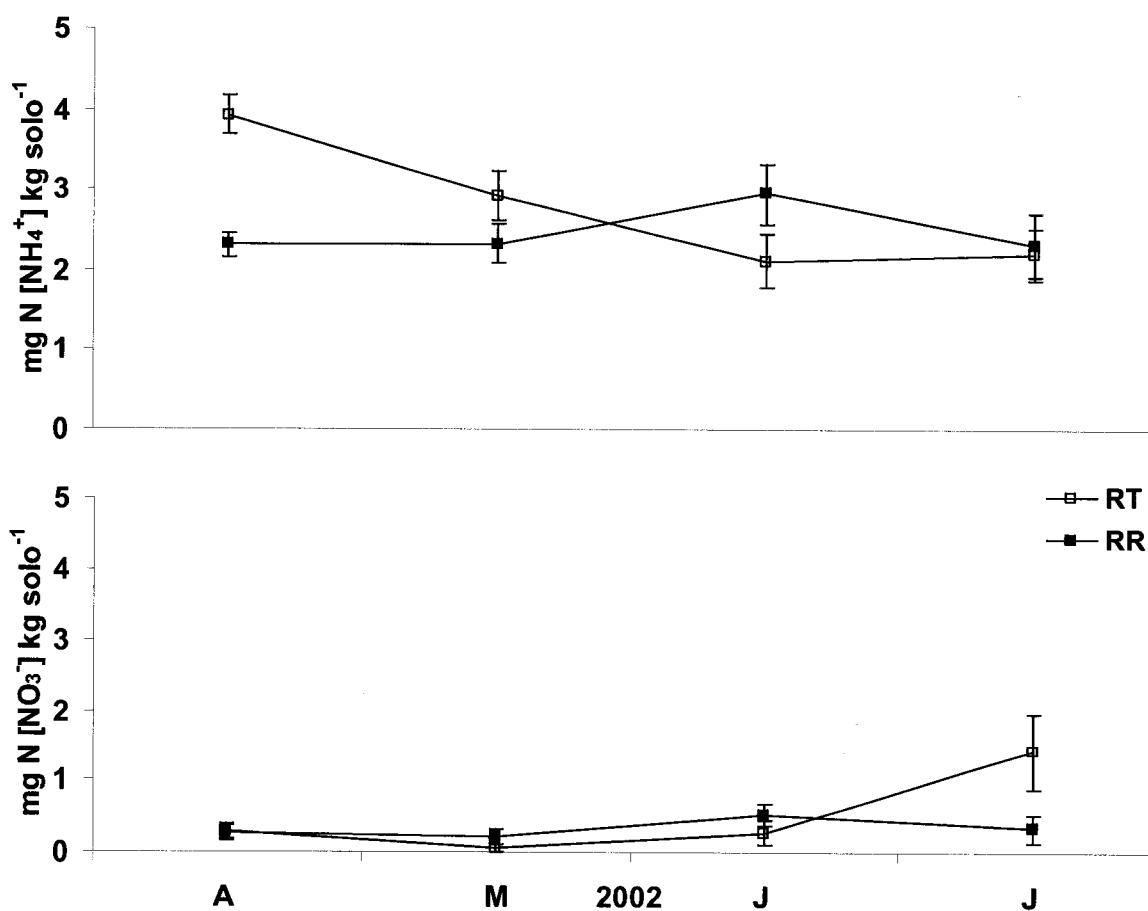


Figura 3.4.11 Concentrações (mg kg^{-1}) de $\text{N}[\text{NH}_4^+]$ e de $\text{N}[\text{NO}_3^-]$ à profundidade de 0-10 cm, nas áreas sujeitas (RR) e não sujeitas (RT) a sombreamento artificial, de Abril a Julho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=6$) e as barras indicam o erro padrão.

O padrão de variação do teor de N [NO_3^-] na profundidade de 0-10 cm foi, por seu turno, semelhante entre as duas áreas, excepto na amostragem de Julho, mês em que o teor de N nítrico foi mais elevado nas áreas RT. Tal como para o N amoniacial, não se observaram diferenças significativas entre os teores nas duas áreas de amostragem (Figura 3.4.11).

O padrão de variação do N amoniacial observado nas duas áreas de amostragem, à profundidade de 10-20 cm, foi semelhante ao observado à profundidade de 0-10 cm. Os valores de N [NH_4^+] no solo das áreas RT foram superiores aos do solo das áreas RR, nos meses de Abril e Maio, mas inferiores nos meses de Junho e Julho, tendo-se observado diferenças significativas somente nos meses de Abril e Junho. (Figura 3.4.12). A ocorrência de diferenças significativas nas amostragens destes meses, estará porventura associada à imobilização de N amoniacial observada nas áreas RT em Abril, e nas áreas RR em Junho (Figura 3.4.14).

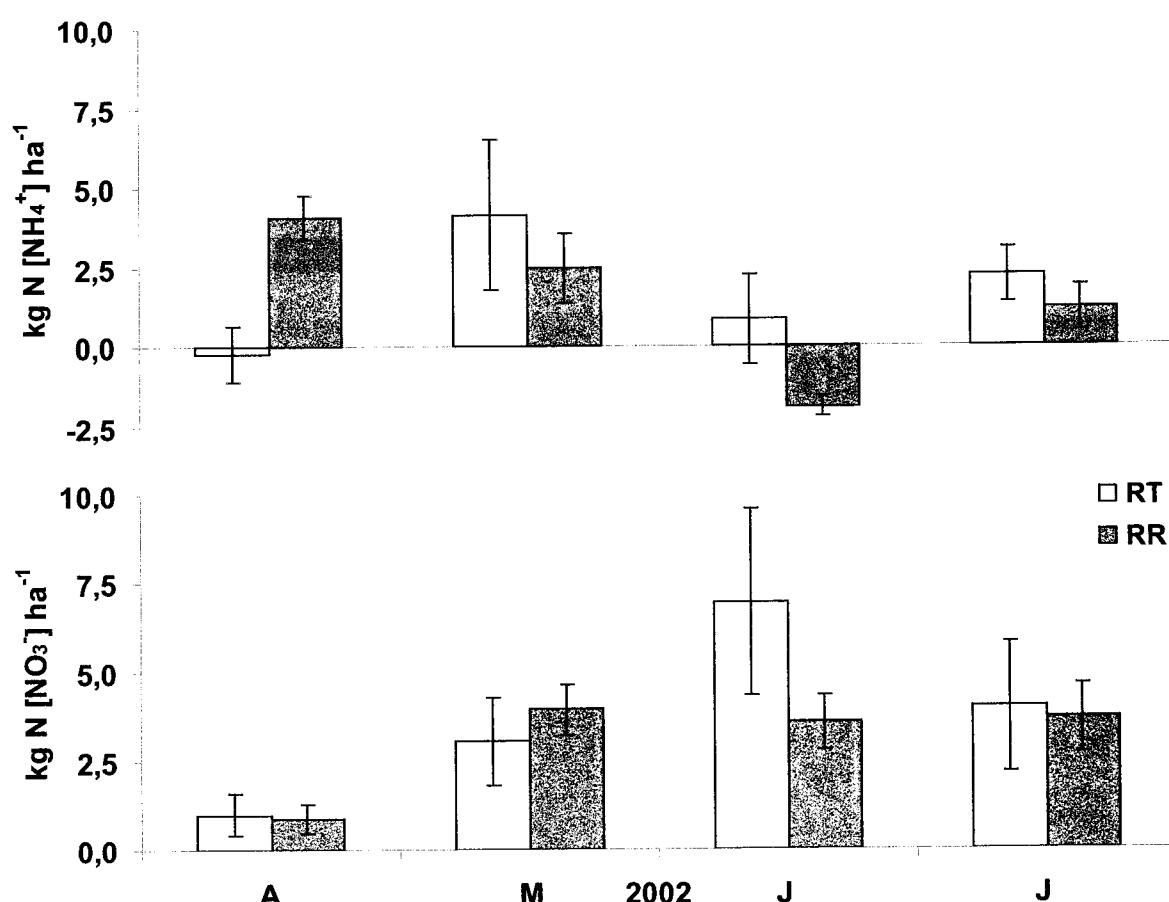


Figura 3.4.12 Concentrações (mg kg^{-1}) de N [NH_4^+] e de N [NO_3^-] à profundidade de 10-20 cm, nas áreas sujeitas (RR) e não sujeitas (RT) a sombreamento artificial, de Abril a Julho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=6$) e as barras indicam o erro padrão.

O teor de N $[NO_3^-]$ à profundidade de 10-20 cm apresentou valores muito baixos nas duas áreas de amostragem, embora ligeiramente superiores nas áreas RR relativamente às áreas RT, mas sem diferirem de forma significativa (Figura 3.4.12). Este facto é corroborado pelo grande paralelismo entre o padrão de variação N $[NO_3^-]$ observado em cada uma das áreas de amostragem.

Os dados deste ensaio parecem confirmar que as diferenças no teor em N do solo, para as condições do presente estudo, resultaram menos da acção de factores microclimáticos, como a temperatura do solo, e mais de factores associados à presença da árvore, como o gotejo, o escorrimento ao longo do tronco, a queda de folhada e, consequentemente, dos teores de C e N mais elevados no sob coberto (Gallardo, 2003).

3.4.3.2 Mineralização de N ($N [NH_4^+]$ e $N [NO_3^-]$) *in situ*

Os valores da mineralização¹³ de N ($N [NH_4^+]$ e $N [NO_3^-]$) observados na profundidade 0-10 cm foram superiores aos da profundidade 10-20 cm (Figura 3.4.13 e 3.4.14).

Na profundidade de 0-10 cm a quantidade de N $[NH_4^+]$ produzida no solo das áreas RT foi superior à produzida no solo das áreas RR durante os meses de Maio, Junho e Julho, mas inferior no mês de Abril, não se tendo, no entanto, observado diferenças significativas entre os valores de N amoniacial produzido nas duas áreas (Figura 3.4.13). A quantidade de N amoniacial nas áreas RT em Abril e nas áreas RR em Junho, foi negativa, indicando que nesses períodos a quantidade de N mineralizado foi inferior à quantidade de N imobilizado.

Embora não diferindo significativamente entre as áreas de amostragem, a quantidade de N $[NO_3^-]$ mineralizado à profundidade de 0-10 cm no solo das áreas RT foi mais elevada do que no solo das áreas RR, nas amostragens de Abril, Junho e Julho, mas menor em Maio. Nas amostragens de Junho e Julho do solo das áreas não sombreadas artificialmente (RT), observaram-se os valores mais elevados de N nítrico.

¹³ Recorda-se novamente que o termo mineralização é utilizado neste texto como o balanço entre o N mineralizado e o N imobilizado conforme Azevedo (2000).

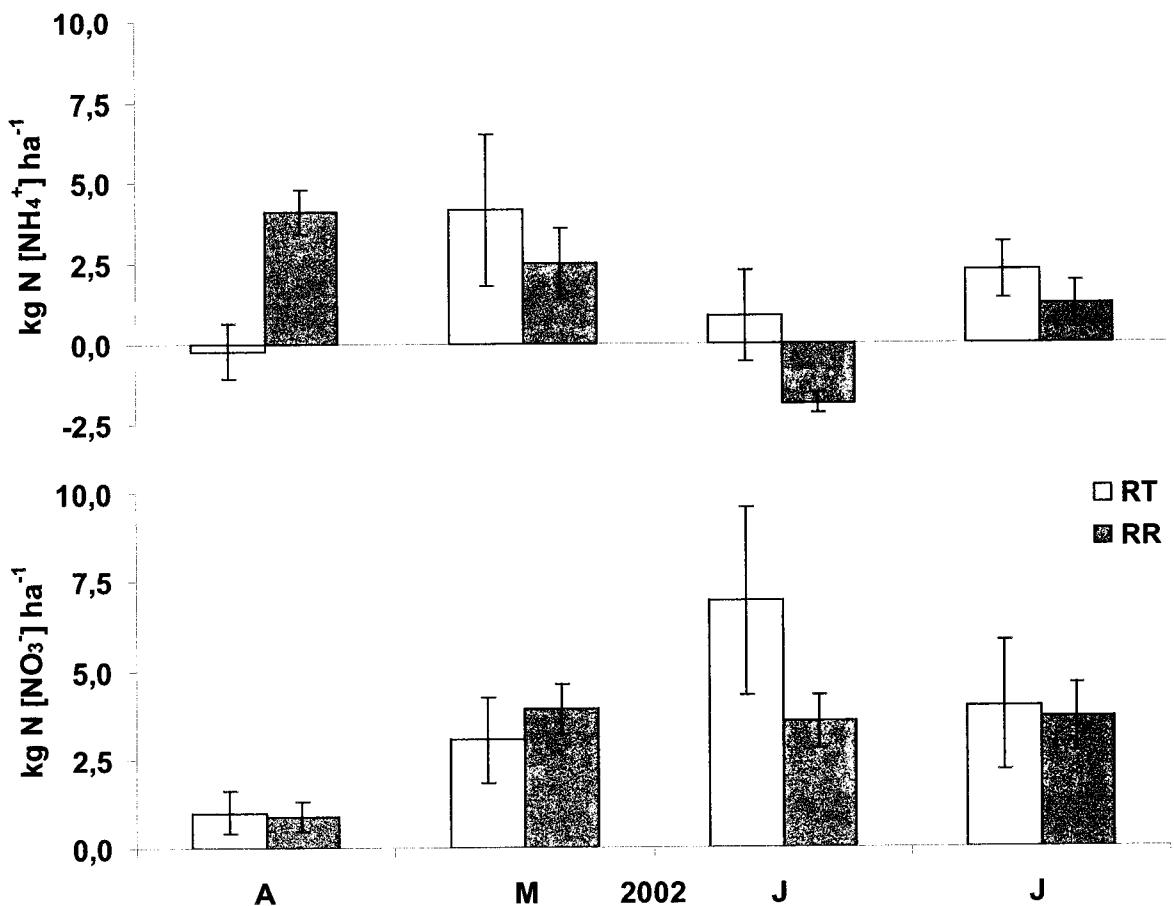


Figura 3.4.13 Variação da mineralização de N *in situ* (kg N [NH₄⁺] e N [NO₃] ha⁻¹) à profundidade de 0-10 cm, nas áreas sujeitas (RR) e não sujeitas (RT) a sombreamento artificial, de Abril a Julho de 2002. Os valores correspondem à média (n=6) e as barras indicam o erro padrão.

Na profundidade de 10-20 cm, a quantidade de N [NH₄⁺] produzida no solo das áreas RT foi mais elevada do que a produzida no solo das áreas RR, durante os meses de Junho e Julho, mas menos elevada nos meses de Abril e Maio, embora só diferindo estatisticamente nas amostragens de Abril e Junho. A existência de diferenças significativas entre a quantidade de N amoniacal produzido nas duas áreas de amostragem coincidiu com a ocorrência de imobilização de N sob esta forma nas áreas RT em Abril e nas áreas RR em Junho. No mês de Julho também foi observada imobilização do N no solo das áreas RR, mas em quantidade mais reduzida, não se verificando diferenças significativas relativamente ao teor do solo das áreas RT (Figura 3.4.14).

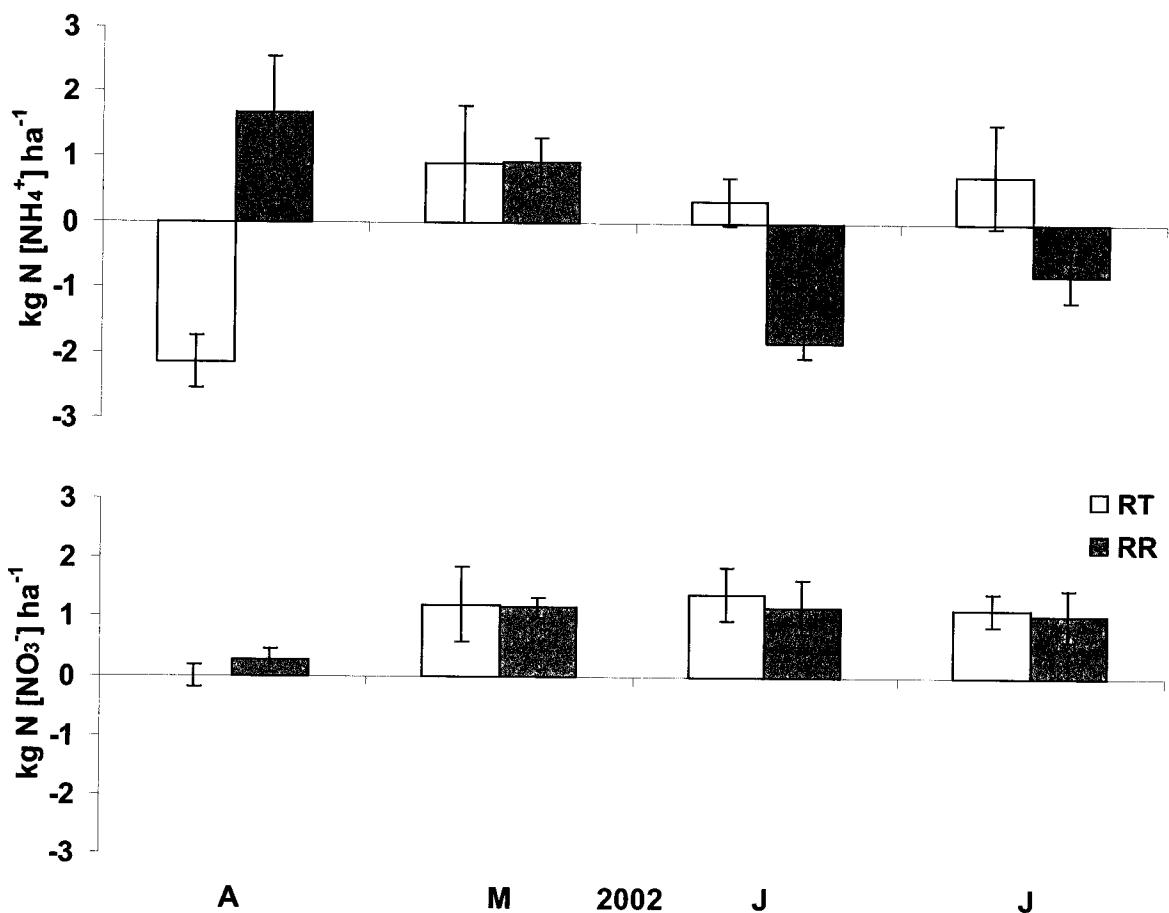


Figura 3.4.14 Variação da mineralização de N *in situ* ($\text{kg N } [\text{NH}_4^+] \text{ ha}^{-1}$ e $\text{kg N } [\text{NO}_3^-] \text{ ha}^{-1}$) à profundidade de 10-20 cm, nas áreas sujeitas (RR) e não sujeitas (RT) a sombreamento artificial, de Abril a Julho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=6$) e as barras indicam o erro padrão.

Embora sem apresentarem diferenças significativas, os valores de $\text{N } [\text{NO}_3^-]$ mineralizado à profundidade 10-20 cm no solo das áreas RT foram superiores aos do solo das áreas RR, nos meses de Maio, Junho e Julho, mas inferiores em Abril. Neste mês, observou-se, ainda, uma reduzida imobilização de N-NO_3^- , no solo das áreas não sombreadas (RT) (Figura 3.4.14).

A mineralização acumulada de N foi de $25,58 \text{ kg ha}^{-1}$ nas áreas não sombreadas artificialmente (RT) e de $21,57 \text{ kg ha}^{-1}$ nas áreas sombreadas artificialmente (RR), dos quais, apenas $3,52$ e $3,61 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente, correspondem à mineralização acumulada na profundidade 10-20 cm (Figura 3.4.16). Do total de N acumulado no solo das duas áreas de amostragem, mais de 80% foi mineralizado acima dos 10 cm, enquanto na profundidade 10-20 cm essa quantidade se situou em valores inferiores a 19% nas áreas RR e a 15% nas áreas RT.

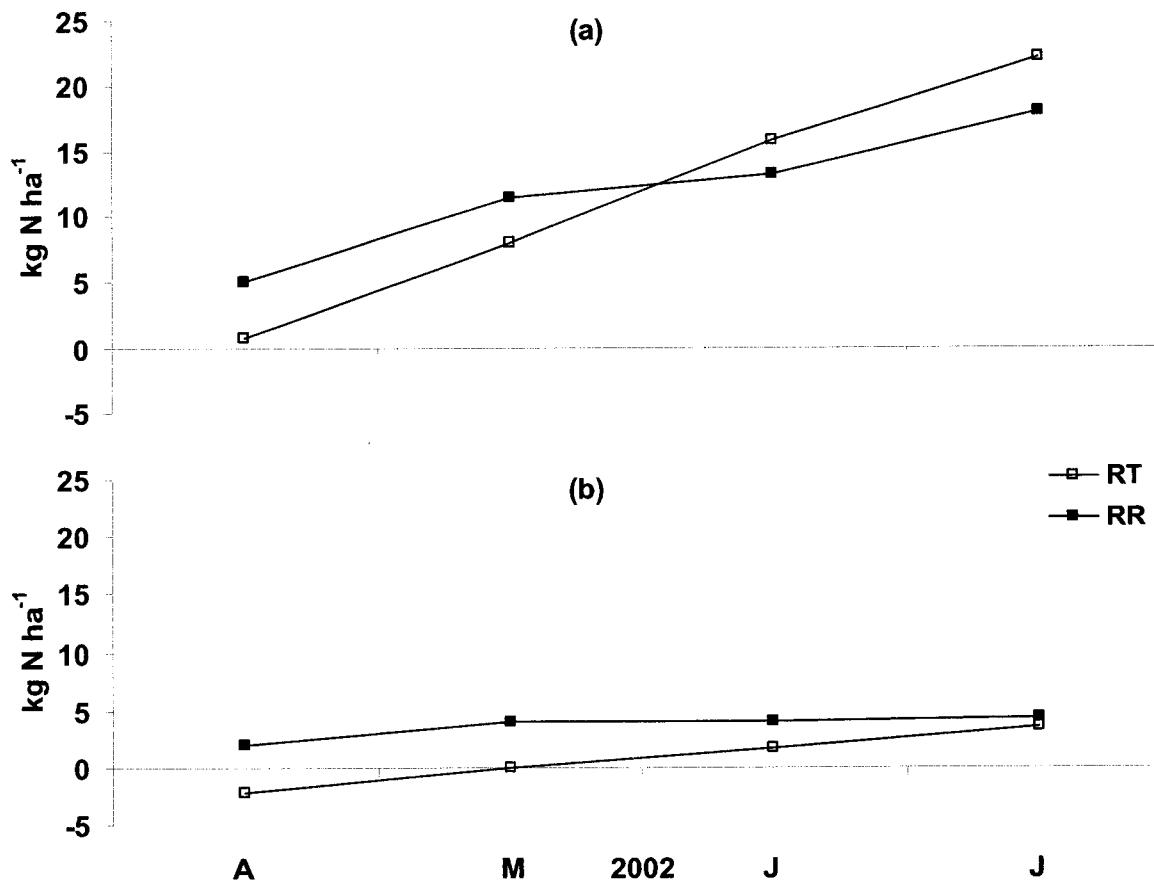


Figura 3.4.15 Mineralização acumulada de N *in situ* ($\text{kg N} [\text{NH}_4^+ \text{ e } \text{NO}_3^-] \text{ ha}^{-1}$) à profundidade de (a) 0-10 e (b) 10-20 cm, nas áreas sujeitas (RR) e não sujeitas (RT) a sombreamento artificial, de Abril a Julho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=6$) e as barras indicam o erro padrão.

Os valores da mineralização específica, ou seja a quantidade de N mineralizado por unidade da quantidade de N total do solo, foram ligeiramente superiores no solo das áreas RT ($0,012 \text{ kg kg}^{-1}$), relativamente ao solo das áreas RR ($0,010 \text{ kg kg}^{-1}$) à profundidade de 0-10 cm. Na profundidade 10-20 cm, as duas áreas apresentaram valores idênticos de mineralização específica ($0,003 \text{ kg kg}^{-1}$). Estes dados confirmam o reduzido ou mesmo nulo impacto do sombreamento, quando factor isolado, na diferenciação do teor em azoto do solo, dado que as diferenças na mineralização específica observadas à profundidade de 0-10 cm foram ínfimas, na ordem de $0,001 \text{ kg kg}^{-1}$.

Os dados da mineralização de N em áreas sujeitas e não sujeitas a sombreamento artificial, ao não evidenciarem diferenças significativas entre si, apontam no sentido de que diferenças observadas na taxa de mineralização do azoto em áreas sob e fora da acção da copa de *Q. rotundifolia*, estarão mais relacionadas com o impacto da árvore na qualidade do substrato e na composição e actividade da fauna do solo do sob coberto, do que com o seu

efeito nas características microclimáticas (Laverman *et al.*, 2000; Giardina *et al.*, 2000; Gallardo, 2003; Theodose & Martin, 2003).

3.4.3.3 Lixiviação de N ($\text{N}[\text{NH}_4^+]$ e $\text{N}[\text{NO}_3^-]$)

Mais de 75% do total das amostras, consoante a área de amostragem e a forma de N considerada, apresentaram valores de lixiviação negativos (Figura 3.4.17) em resultado das interacções anteriormente referidas (cf. 3.4.2.3).

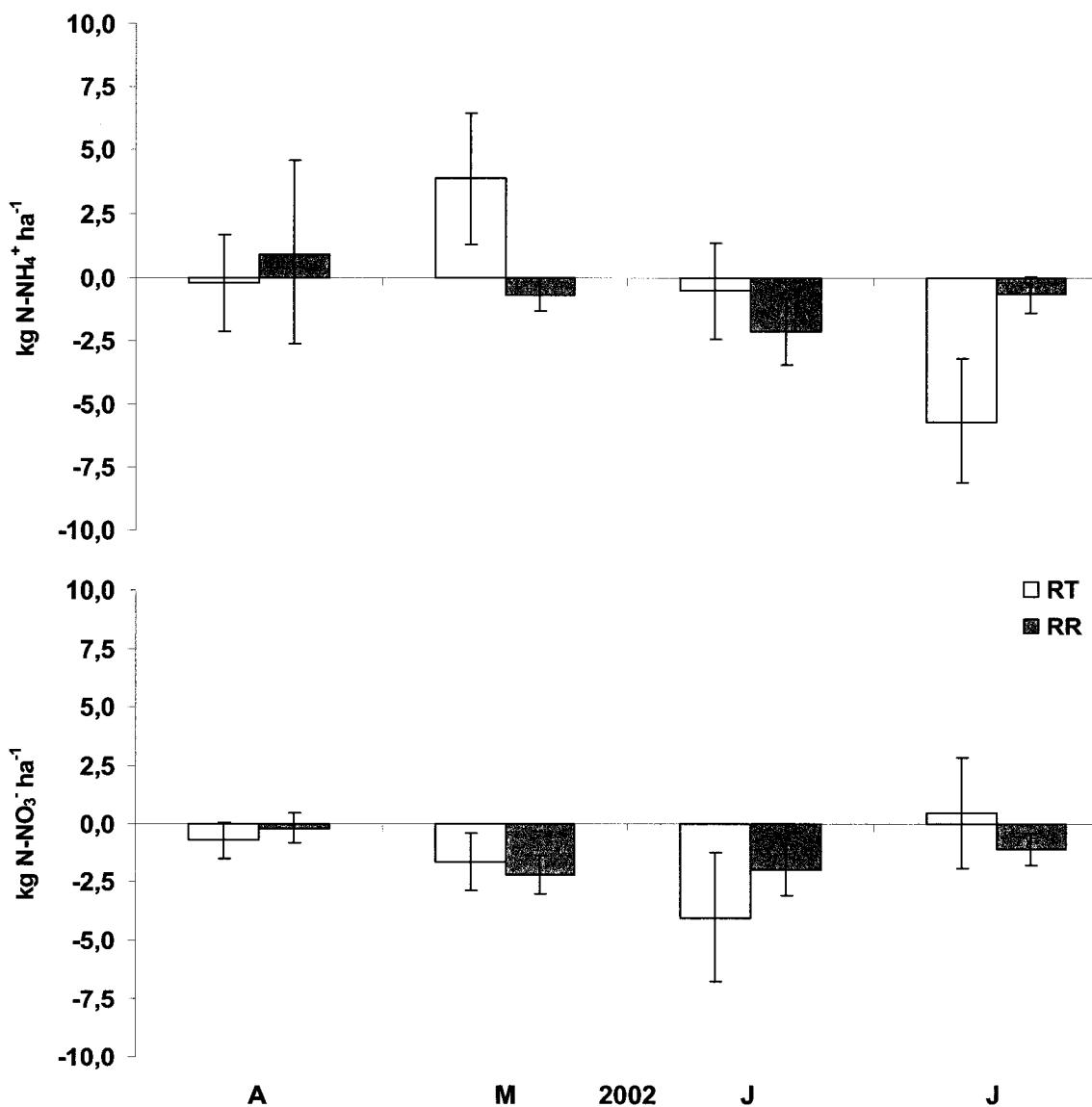


Figura 3.4.16 Lixiviação de N *in situ* ($\text{kg N}[\text{NH}_4^+]$ e $\text{N}[\text{NO}_3^-]\text{ ha}^{-1}$) para além de 20 cm de profundidade, nas áreas sujeitas (RR) e não sujeitas (RT) a sombreamento artificial, de Abril a Julho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=6$) e as barras indicam o erro padrão.

O padrão de lixiviação de N $[NH_4^+]$ e de N $[NO_3^-]$ no solo das áreas sujeitas e não sujeitas a sombreamento artificial variou pontualmente para cada uma destas duas formas de N. No entanto, a diferença no padrão de lixiviação entre o N amoniacial e o N nítrico, não foi tão evidente como a observada no ensaio anterior (cf. 3.4.2.3.). Tal poderá atribuir-se ao facto de a maioria dos valores de lixiviação, quer de N $[NH_4^+]$ quer de N $[NO_3^-]$, terem sido negativos, bem como ao reduzido número de amostragens realizadas neste ensaio, comparativamente ao das realizadas no ensaio com *Quercus rotundifolia*.

Nas áreas sombreadas (RR) só se observaram valores positivos de lixiviação de N $[NH_4^+]$ na amostragem de Abril, enquanto nas áreas não sombreadas (RT) os valores positivos só foram registados na amostragem de Maio. A lixiviação de N- NO_3^- apenas apresentou valores positivos na amostragem de Julho nas áreas RT, valor este que, considerando a reduzida precipitação verificada neste mês (cf. 2.1.2), terá resultado mais de artefactos na amostragem do que do processo de lixiviação propriamente dito (Figura 3.4.17).

O total de N $[NH_4^+]$ e de N $[NO_3^-]$ lixiviado durante o período de estudo foi, respectivamente, de 3,83 e 0,44 kg ha $^{-1}$ nas áreas não sujeitas a sombreamento (RT) e de 0,96 e 0 kg ha $^{-1}$ nas áreas sombreadas artificialmente com rede de sombra.

Não se observaram diferenças significativas entre os valores de lixiviação nas duas áreas de amostragem, quer para o N $[NH_4^+]$, quer para o N $[NO_3^-]$.

Os dados da lixiviação de N em áreas sujeitas e não sujeitas a sombreamento artificial indicam que a presença de rede de sombra não terá alterado de forma sensível a quantidade de precipitação que atingiu o solo, conforme é evidenciado pela inexistência de diferenças significativas entre os valores de lixiviação das duas áreas. Podemos, portanto, aceitar que o factor preponderante neste ensaio de mineralização em áreas sujeitas e não sujeitas a sombreamento artificial, foi o da redução da quantidade de radiação que atinge o solo coberto de vegetação herbácea, por acção da rede de sombra.

3.4.3.4 Absorção de N (N $[NH_4^+]$ e N $[NO_3^-]$)

O padrão de absorção de N $[NH_4^+]$ e de N $[NO_3^-]$ variou para cada uma destas duas formas de N tal como esperado, considerando os diferentes teores no solo de cada uma delas (Figuras 3.4.11 e 3.4.12). Observou-se, ainda, que a absorção de N $[NH_4^+]$ e de N $[NO_3^-]$ variou ligeiramente para cada uma das áreas de amostragem (Figuras 3.4.18 e 3.4.19).

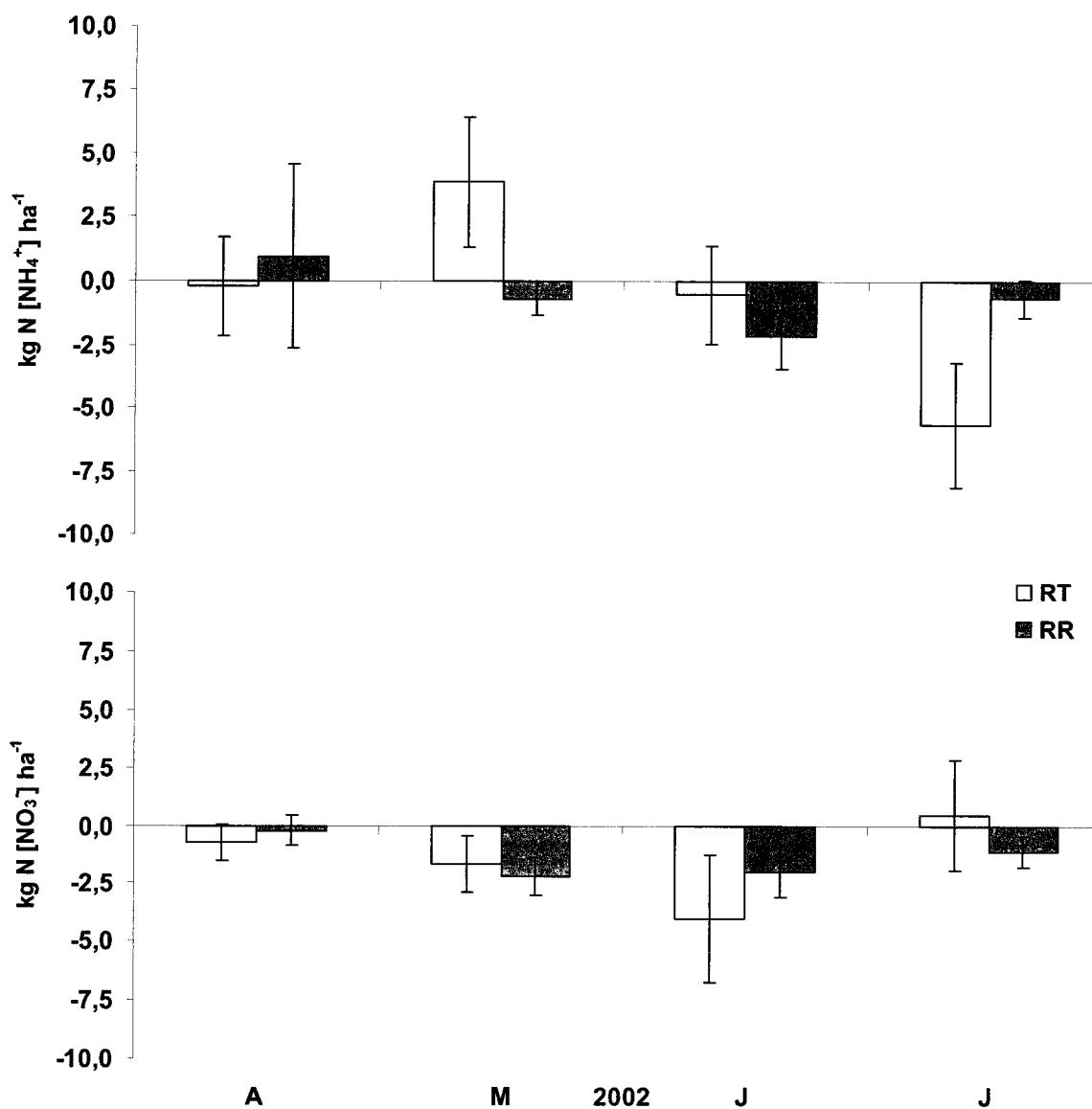


Figura 3.4.17 Absorção de N *in situ* ($\text{kg N } [\text{NH}_4^+]$ e $\text{N } [\text{NO}_3^-] \text{ ha}^{-1}$) à profundidade de 0-10 cm, nas áreas sujeitas (RR) e não sujeitas (RT) a sombreamento artificial, de Abril a Julho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=6$) e as barras indicam o erro padrão.

A quantidade de N $[\text{NH}_4^+]$ absorvido no solo das áreas sujeitas e não sujeitas a sombreamento artificial à profundidade 0-10cm foi, respectivamente, cerca de 2 a 4 vezes superior à quantidade absorvida na profundidade 10-20 cm. No conjunto das duas profundidades amostradas (0-20 cm), a quantidade de N $[\text{NH}_4^+]$ absorvido nas áreas RT ($5,98 \text{ kg ha}^{-1}$) foi inferior à quantidade absorvida nas áreas RR ($8,03 \text{ kg ha}^{-1}$). Na profundidade de 0-10 cm este o padrão manteve-se, mas na profundidade de 10-20 cm, em resultado dos valores de absorção negativos, observou-se uma troca de posições em cada uma das áreas. Não se verificaram, no entanto, diferenças significativas entre as quantidades de N amoniacal absorvidas no solo de cada uma das áreas, qualquer que fosse a profundidade de amostragem.

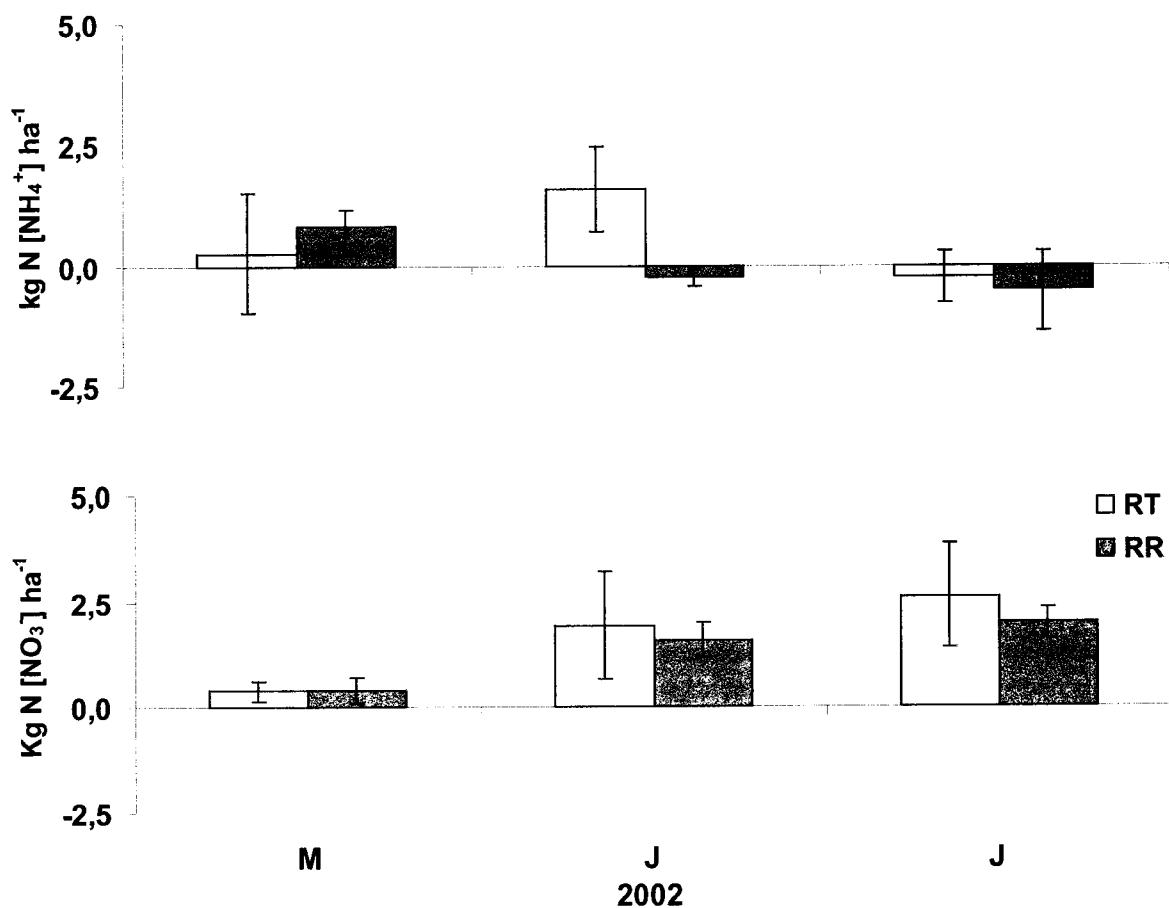


Figura 3.4.18 Absorção de N *in situ* ($\text{kg N } [\text{NH}_4^+]$ e $\text{N } [\text{NO}_3^-] \text{ ha}^{-1}$) à profundidade de 10-20 cm, nas áreas sujeitas (RR) e não sujeitas (RT) a sombreamento artificial, de Abril a Julho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=6$) e as barras indicam o erro padrão.

Tal como para o N $[\text{NH}_4^+]$, a quantidade de N $[\text{NO}_3^-]$ absorvido na profundidade 0-10 cm foi superior à quantidade absorvida na profundidade 10-20 cm, embora a diferença verificada não tenha sido tão evidente, apenas cerca de 2,8 vezes maior quer nas áreas RT como nas áreas RR. Considerando a totalidade da profundidade de amostragem (0-20 cm), a quantidade de N $[\text{NO}_3^-]$ absorvido no solo das áreas RR ($15,15 \text{ kg ha}^{-1}$) foi inferior à quantidade absorvida no solo das áreas RT ($18,81 \text{ kg ha}^{-1}$), observando-se padrão idêntico tanto para a profundidade de 0-10 cm como para a profundidade de 10-20 cm. Não se registaram diferenças significativas entre as quantidades de N nítrico absorvidas no solo de cada uma das áreas, qualquer que fosse a profundidade de amostragem.

As diferenças nos valores de absorção de N entre as áreas sombreadas (RR) e não sombreadas artificialmente (RT) poderão, em parte, ser explicados pelo decréscimo na produção da vegetação herbácea evidenciado nas áreas RR (cf. 3.5.1 e 3.5.3), dado que a composição do banco de sementes não terá sofrido alteração.

3.4.4 Efeito da copa de *Quercus rotundifolia* na taxa da respiração do solo

O padrão de variação da taxa de respiração do solo ao longo do tempo apresentou grande paralelismo entre as duas áreas de medição consideradas; todavia, a taxa nas áreas do sob coberto de *Q. rotundifolia* (SC) foi cerca do dobro da taxa registada nas áreas fora da acção da copa (FC) (Figura 3.4.20).

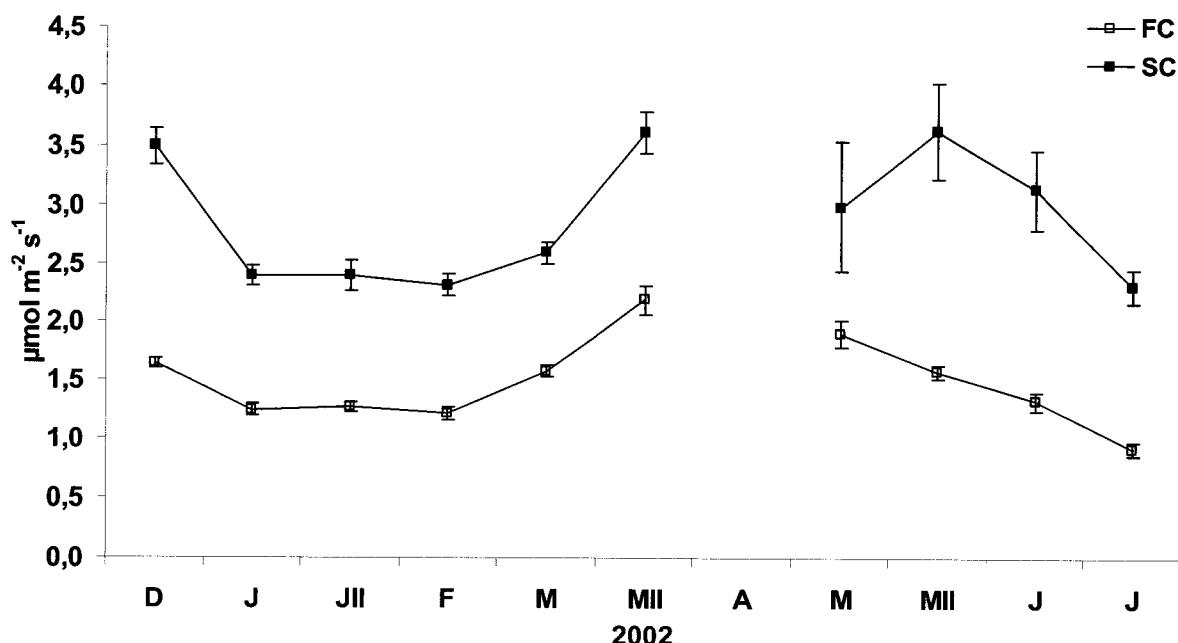


Figura 3.4.19 Efluxo de CO_2 do solo ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) nas áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*, de Dezembro de 2001 a Julho de 2002. Os valores correspondem à média ($n=15$) e as barras indicam o erro padrão. As medições foram interrompidas no mês de Abril por falta de disponibilidade no aparelho.

Durante todo o período de estudo, os valores da taxa de respiração do solo foram significativamente superiores nas áreas SC, à excepção da medição efectuada na primeira quinzena de Maio de 2002, em que os valores da taxa de respiração do solo observados nas duas áreas (SC e FC) não apresentaram diferenças significativas. Observou-se ainda que, quer no solo das áreas sob coberto, quer no solo das áreas fora deste, a taxa de respiração do solo foi influenciada pela temperatura e pelo teor de humidade do solo. Nos meses de Inverno, embora o teor de humidade do solo seja elevado os valores de efluxo de CO_2 são reduzidos em resultado das baixas temperaturas, que deprimem a actividade microbiana do solo. Nos meses da Primavera, a temperatura aumenta e, com os teores de humidade do solo favoráveis, os valores de efluxo elevam-se, dada a forte actividade

microbiana e radicular que ocorre nesta época do ano. A partir da segunda quinzena de Maio, os valores de efluxo das duas áreas de medição decrescem de forma contínua, em consequência da diminuição do teor de humidade do solo, o qual inibe fortemente a acção dos referidos organismos.

Ao calcular-se o índice específico da respiração do solo, ou seja ao determinar-se a razão entre a quantidade média de C libertado por m^2 durante os intervalos de medição, e a quantidade de C por m^2 no solo, para cinco das datas de amostragem, observou-se que a quantidade de C libertado foi ainda assim superior nas áreas SC (Quadro 3.4.7). Estes dados sugerem que a liberação do C do solo, além de ser à partida mais elevada nas áreas SC, quando condições favoráveis de temperatura e humidade coexistem, aumenta o diferencial entre o C libertado nas áreas SC e o C libertado nas áreas FC.

A respiração do solo é o resultado de dois processos: a produção de CO_2 no solo, principalmente por respiração das raízes, de microorganismos associados às raízes e de microorganismos decompositores da matéria orgânica, e o transporte desse CO_2 para a atmosfera (Fang & Moncrieff, 1999; Conant et al., 2000; Janssens et al., 2000). Nas áreas do sob coberto, o teor de C do solo é mais elevado do que o do solo das áreas fora da acção da copa. Consequentemente, no sob coberto as condições do solo serão mais favoráveis ao desenvolvimento da população microbiana, com implicações evidentes na produção e liberação de CO_2 . Simultaneamente, coexistem nas áreas do sob coberto os sistemas radiculares da vegetação herbácea e da árvore, pelo que a liberação de CO_2 pelas raízes apresentará nestas áreas valores mais elevados do que nas áreas fora da copa. Os teores mais elevados de C total do solo nas áreas do sob coberto conjuntamente com uma respiração radicular mais elevada no sob coberto, explicarão as diferenças encontradas nos valores da respiração do solo medidos nas áreas sob e fora da acção da copa de *Q. rotundifolia* (Conant et al., 1998; 2000).

Quadro 3.4.7 Índice específico da liberação de C através da respiração do solo ($mg\ kg^{-1}$) para as amostragens efectuadas nas áreas sob (SC) e fora (FC) da acção da copa de *Q. rotundifolia*, em Dezembro de 2001, em Fevereiro, na 2^a quinzena de Março e Maio, e em Julho de 2002.

Amostragem	FC	SC
Dezembro	1,19	1,46
Fevereiro	1,02	1,15
Março II	1,11	1,43
Maio II	0,95	1,47
Julho	0,62	0,92

O padrão da taxa de respiração do solo observado nas presentes condições está de acordo com aquele que seria de esperar em ecossistemas semi-áridos, nos quais, o

acrúscimo de respiração do solo em resultado do acrúscimo de temperatura nas estações quentes (Fang & Moncrieff, 2001) é compensado pela diminuição do teor de humidade do solo em resultado da diminuição da precipitação (Conant *et al.*, 1998; 2000). Este comportamento é também reportado na avaliação da respiração do solo sob coberto de *Q. ilex* na Itália (Janssens *et al.*, 2001) e em Barcelona (Piñol *et al.*, 1998).

A mobilização do solo nas áreas do sob coberto até à profundidade de 10 cm originou um acrúscimo significativo na taxa de respiração do solo medida 24 horas após a sua realização (Figura 3.4.21). No entanto, menos de 30 dias após a mobilização do solo, verificou-se uma atenuação significativa no efluxo na situação com mobilização (MOB), o qual deixou de se diferenciar significativamente do efluxo observado na situação de referência (REF).

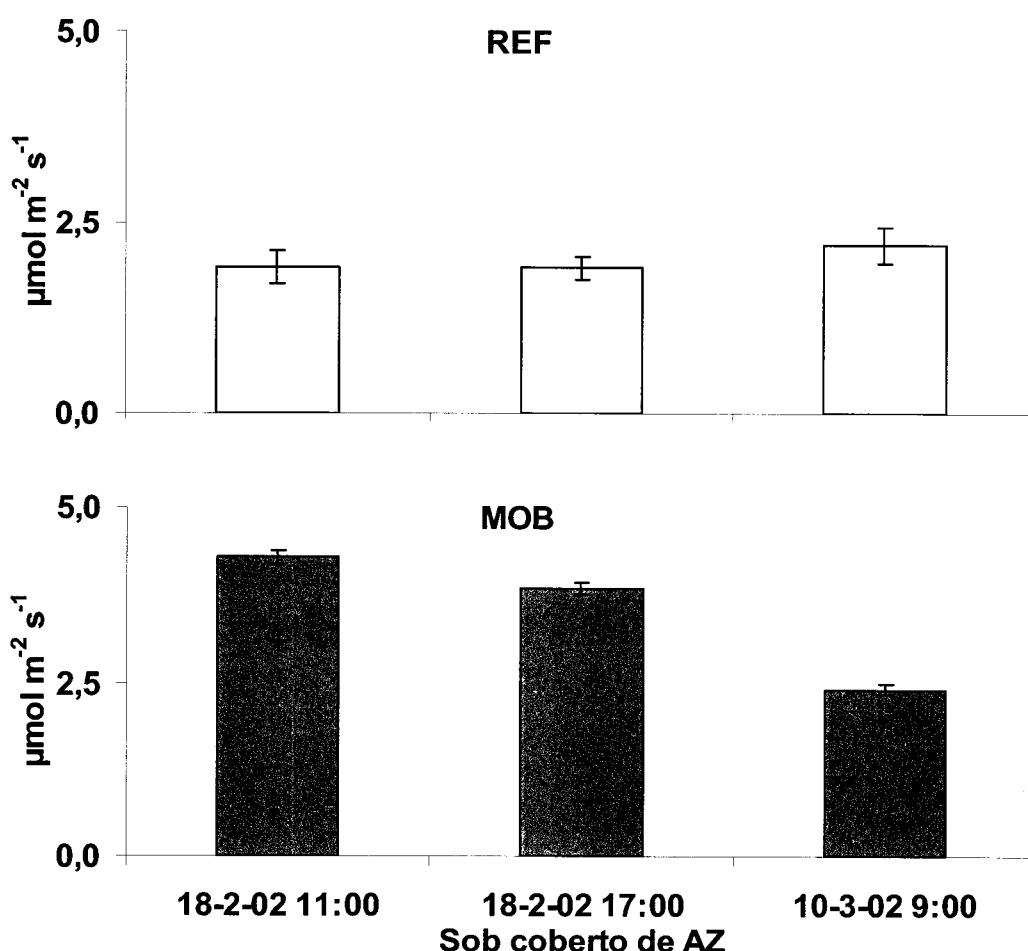


Figura 3.4.20 Efluxo de CO_2 do solo ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) nas áreas sob a acção da copa de *Q. rotundifolia*, com (MB) e sem (REF) mobilização do solo até à profundidade de 10 cm, às 11:00 e às 17:00 de 18 de Fevereiro de 2002, às 9:00 de 10 de Março de 2002. As medições foram efectuadas 24 horas após a mobilização. Os valores correspondem à média ($n=15$) e as barras indicam o erro padrão.

Nas áreas fora da acção do coberto das árvores também foi possível observar, 24 horas depois de o solo ter sido mobilizado até à profundidade de 10 cm, um acréscimo significativo da taxa de respiração do solo nas áreas mobilizadas (MOB) relativamente às áreas não mobilizadas (REF) (Figura 3.4.22).

A mobilização do solo, ao aumentar o seu arejamento, favoreceu a decomposição da matéria orgânica e consequentemente originou um incremento na respiração do solo (Schlesinger & Andrews, 2000).

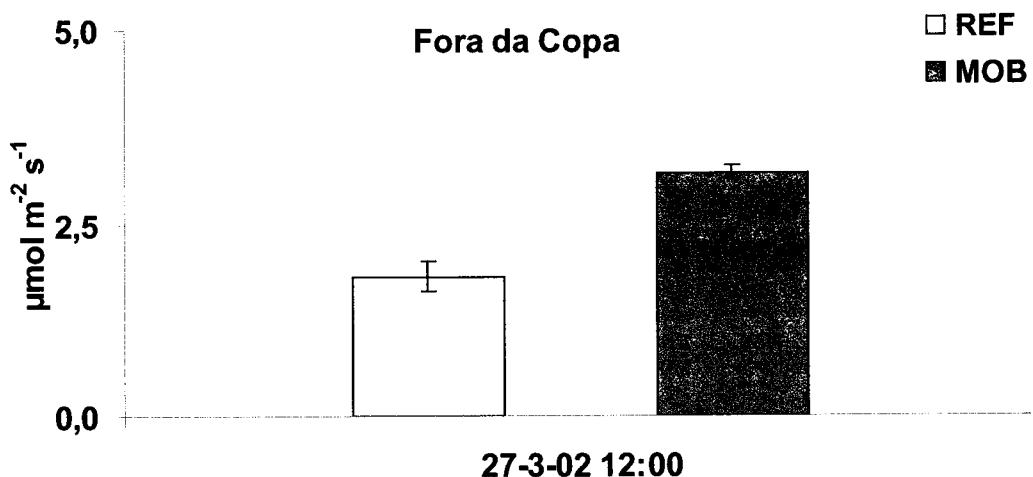


Figura 3.4.21 Efluxo de CO_2 do solo ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) nas áreas fora da acção da copa de *Q. rotundifolia*, com (MB) e sem (REF) mobilização do solo até à profundidade de 10 cm às 12:00 de 27 de Março de 2002. As medições foram efectuadas 24 horas após a mobilização. Os valores correspondem à média ($n=15$) e as barras indicam o erro padrão.

3.4.5 Conclusões

A presença da azinheira aumenta significativamente o teor em N e C totais do solo do sob coberto e melhora as suas características físicas e pedoclimáticas. Consequentemente, o padrão de variação do teor de N no solo, embora não diferindo significativamente entre o sob coberto e as áreas fora da acção deste, apresenta teores de N mais elevados no primeiro do que no segundo.

Os teores de N mais elevados no solo do sob coberto, relativamente às áreas fora da copa, resultaram de taxas de mineralização diferenciadas entre as duas áreas, principalmente na profundidade de 0-10 cm. A maior qualidade e disponibilidade do substrato no sob coberto favoreceu a mineralização do N, mais do que as condições pedoclimáticas, que não parecem ter contribuído fortemente a diferença observada. Esta suposição é justificada pela quase inexistência de diferenças na mineralização de N entre

áreas sujeitas e não sujeitas a sombreamento artificial. Considerando que os processos de lixiviação e absorção de azoto não diferirem significativamente entre estas duas áreas de amostragem, reforça a importância da árvore na existência de diferentes teores de N no solo, bem como sobre as diferenças observadas no processo de mineralização entre as áreas do sob coberto e as áreas fora da copa.

Este facto é fortemente corroborado pelos valores do potencial de mineralização e da mineralização aparente, obtidos através da incubação anaeróbia e aeróbia de amostras de solo do sob coberto e das áreas fora da acção deste, em que os valores obtidos a partir das amostras do sob coberto foram significativamente superiores.

A presença das árvores de *Quercus rotundifolia* aumentou a taxa de respiração do solo nas áreas do sob coberto, relativamente às áreas fora da copa. No sob coberto, em resultado da presença da árvore, a respiração radicular e microbiana são mais elevadas, dada a existência de, por um lado, uma rede mais complexa de raízes e respectivos microorganismos associados, e por outro, um aumento da biomassa microbiana do próprio solo causada pelo acréscimo de matéria orgânica no local.

O sistema encontra-se, no entanto, regulado pelo teor de humidade, pois embora se verifique um acréscimo de libertação de CO₂ com o aumento da temperatura, assim que o teor de humidade no solo decresce a libertação de carbono reduz-se significativamente, pelo que apenas serão de esperar grandes perdas de C neste sistema por acção de eventos extremos, tais como a mobilização do solo ou a ocorrência de forte precipitação nos meses de Verão.

3.5 Efeito da copa de *Quercus rotundifolia* na produtividade e composição química da vegetação herbácea do sob coberto, em resultado das alterações da radiação e da disponibilidade em água e nutrientes

Os montados do Sul de Portugal, o sistema agroflorestal predominante nesta região, podem ser descritos como formações resultantes da justaposição de um sistema arbóreo descontínuo sobre um sistema herbáceo contínuo (Joffre & Rambal, 1988). Esta descrição coincide com a utilizada por vários autores na caracterização do sistema agroflorestal designado por savana (Belsky *et al.*, 1989, 1993; Jackson *et al.*, 1990; Belsky 1994; Scholes & Archer, 1997; Ludwing, 2001), pelo que podemos considerar os povoamentos de *Quercus suber* L e *Q. rotundifolia* Lam. como sendo do tipo savana (Joffre & Rambal, 1993).

Diversos trabalhos têm sido realizados para estudar os processos actuantes na interacção estrato arbóreo-estrato herbáceo em savanas (Belsky & Amundson, 1998; Belsky *et al.*, 1989, 1993; McLaren & Bartolome, 1989; Weltzin & Coughenour, 1990; Mordelet & Menaut, 1995; Akpo, 1997; Anderson *et al.*, 2001; Ludwing, 2001), nomeadamente sobre o efeito da presença da árvore na disponibilidade hídrica e de nutrientes no sob coberto, nas características físicas e químicas do solo e nas alterações do microclima. Estudos realizados, quer em Portugal quer em Espanha, em sistemas com árvores muito espaçadas de *Q. rotundifolia* indicam que estas podem funcionar como “armadilhas” da precipitação e dos nutrientes por ela veiculados, na dependência da acção do vento, melhorando, assim, tanto o regime hídrico (Escudero, 1985; Joffre & Rambal, 1988, 1993; Nunes, 1998; Nunes *et al.*, 1999, 2001, 2002) como a disponibilidade de nutrientes do solo. A melhoria do regime hídrico e da disponibilidade em nutrientes do solo é atribuída tanto à intercepção da chuva pela copa como à maior acumulação de matéria orgânica no solo sob aquela, devido à queda de folhada e à senescênciadas raízes finas das árvores (Escudero, 1985; Joffre & Rambal, 1988, 1993; Rapp *et al.* 1999).

Tais aspectos sugerem que as árvores isoladas de *Q. suber* e de *Q. rotundifolia* terão um papel fundamental no regime hídrico e nas características do solo sob a respectiva copa, o que poderá assumir grande relevância na produção da biomassa herbácea neste tipo de sistema. Com efeito, estudos realizados em alguns dos nossos montados têm demonstrado que os solos sob a copa de *Q. rotundifolia* podem apresentar maior disponibilidade de nutrientes, comparativamente com as áreas limítrofes (Baltasar *et al.*, 1983; Nunes, 1998; Nunes *et al.* 1999).

A interacção entre as árvores e a vegetação sob coberto poderá assumir importantes implicações na gestão dos sistemas agroflorestais do tipo montado numa perspectiva do seu

uso múltiplo. No entanto, o conhecimento disponível sobre as interacções que ocorrem no sistema árvore-herbáceas é escasso, implicando a necessidade de obter mais informação para melhor conhecer o sistema montado.

Como hipótese de trabalho considerou-se que a melhoria das condições ecológicas no sob coberto da azinheira (disponibilidade em nutrientes, regime hídrico e de temperatura mais favoráveis) poderiam favorecer a produção da vegetação herbácea, enquanto que a redução da radiação solar pela copa da árvore bem como a competição pelos nutrientes e água actuariam desfavoravelmente. Ou seja, pretendeu-se avaliar o balanço entre os factores favoráveis e desfavoráveis à produção da vegetação herbácea, resultantes da presença de árvores de *Q. rotundifolia*.

Neste contexto, avaliou-se produtividade da vegetação herbácea sob e fora da acção da copa de *Q. rotundifolia*, bem como sob a acção de redução artificial da radiação. Concomitantemente, em qualquer dos casos, avaliou-se o efeito da aplicação de fertilizantes e de rega, isoladamente e em conjunto, na produtividade dessa vegetação.

Nesta secção apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos durante os anos de 2000/01 e 2001/02 de produção de fitomassa da vegetação herbácea, de forma agrupada e para cada um dos grupos (gramíneas, dicotiledóneas não leguminosas e leguminosas) em que aquela foi dividida. Os valores médios (e respectivos desvios padrão), da produção da vegetação herbácea, do Índice de Área Foliar (LAI), da Razão do Peso Foliar (LWR), das quantidades de nutrientes na biomassa, bem como os resultados dos tratamentos estatísticos efectuados, são apresentados em anexo.

3.5.1 Produção de biomassa

3.5.1.1 Fitomassa total

A produção da vegetação herbácea foi, de um modo geral, maior nas áreas com radiação total (RT) do que nas áreas situadas sob a copa de *Q. rotundifolia* (AZ), bem como nas áreas fora da acção da copa mas com redução da radiação por intermédio de rede de sombra (RR), qualquer que seja o tratamento relativo à disponibilidade de água e nutrientes (Figura 3.5.1 e Anexo 3.5.1). Este padrão foi semelhante para a produção da vegetação herbácea de cada um dos grupos de plantas considerados, ou seja, o grupo das gramíneas, o grupo das dicotiledóneas não leguminosas e o grupo das leguminosas (Figura 3.5.2 e Anexos 3.5.2, 3 e 4). A maior produção de vegetação herbácea nas áreas fora da copa das árvores vai ao encontro do verificado por Sá (2001), em montados de *Q. suber* na região de Évora, e por Pereira (2004) em lameiros com freixos na região de Bragança.

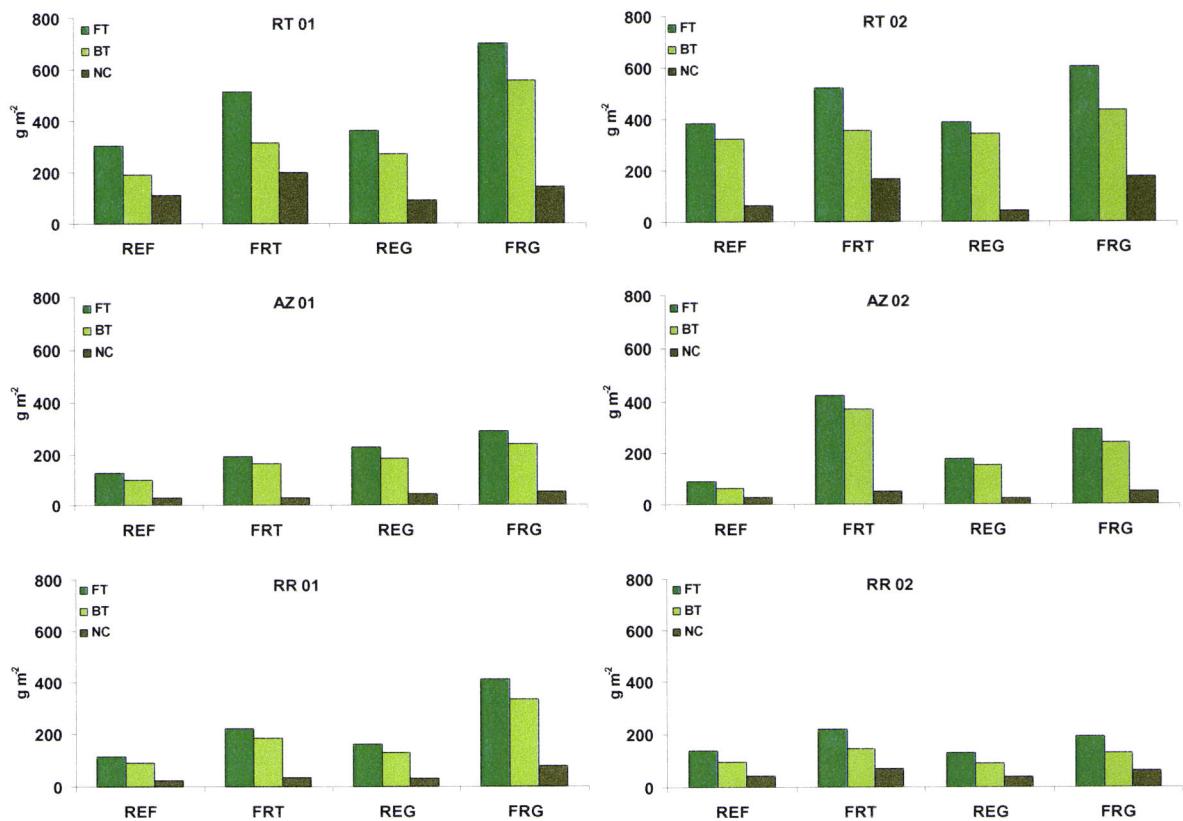


Figura 3.5.1 Valores médios da produção de fitomassa (FT), biomassa (BT) e necromassa (NC) totais (g m^{-2}) das parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG), fertilizadas e regadas (FRG), nas áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e nas áreas com radiação reduzida artificialmente (RR), em Abril de 2001 (01) e de 2002 (02).

As diferenças de produtividade da vegetação herbácea entre as áreas sob e fora da acção do coberto das árvores têm sido atribuídas a três factores principais: a maior disponibilidade em nutrientes e melhor estrutura do solo do sob coberto, a melhoria das relações hídricas das plantas sombreadas, e a competição entre árvores e vegetação do sob coberto pela água e nutrientes (Belsky, 1994). Por outro lado, a redução da radiação pela copa das árvores, que afecta o estrato herbáceo, poderá ser limitante para a produção das plantas, embora a redução da temperatura no sob coberto, com a consequente melhoria da situação hídrica das plantas, possa potencialmente favorecer a formação de biomassa da vegetação herbácea (Belsky, 1994; Anderson *et. al.*, 2001).

A influência das árvores na produção da vegetação herbácea, em sistemas do tipo savana, como é o caso do montado, traduz um conjunto de mecanismos com efeito ora positivo ora negativo, de cuja interacção resultará um efeito líquido positivo ou negativo na produção das herbáceas, consoante as diferentes situações ecológicas (Ludwing, 2001). No presente estudo, os dados obtidos parecem sugerir que a interacção desses diferentes mecanismos teve como resultado um efeito líquido negativo na produção da fitomassa das

herbáceas do sob coberto de *Q. rotundifolia*, comparativamente às áreas fora da acção da respectiva copa.

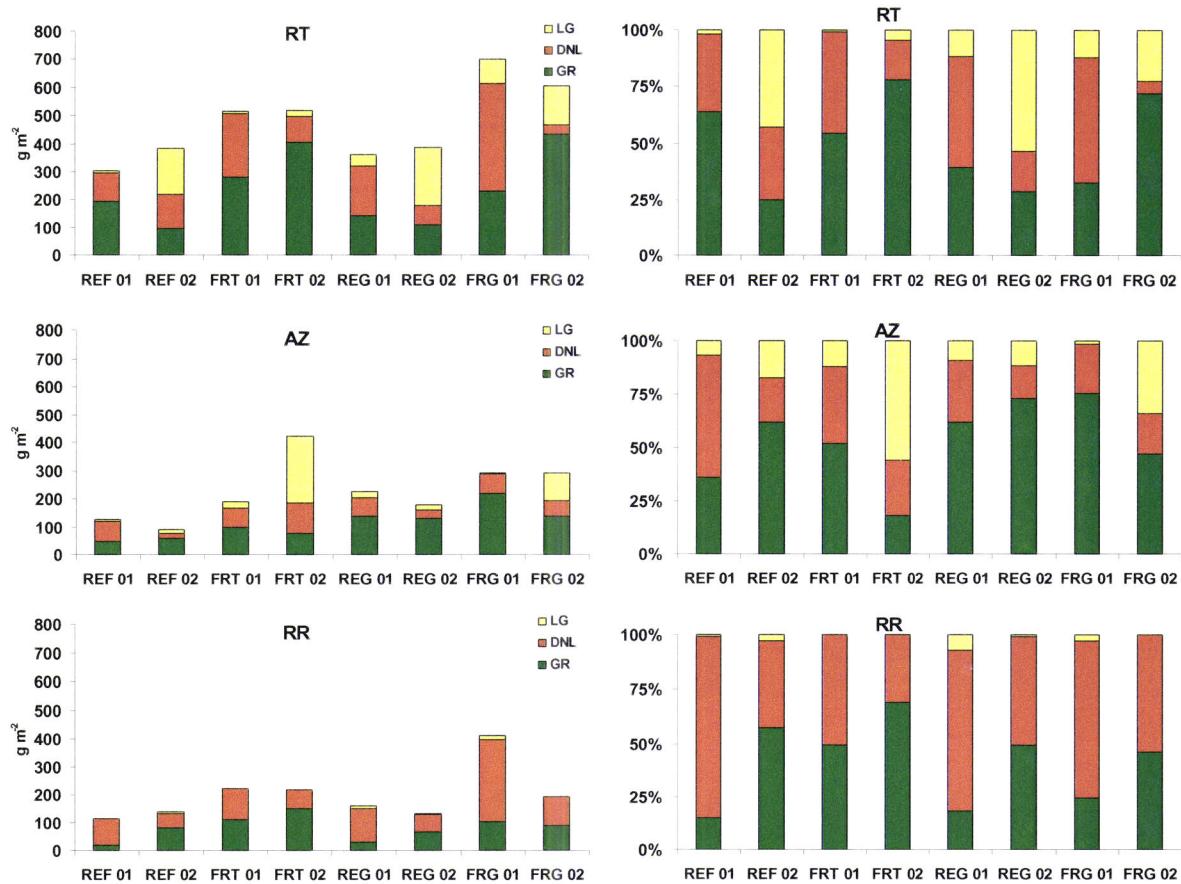


Figura 3.5.2 Valores médios da produção (g m^{-2}) de fitomassa de gramíneas (GR), dicotiledóneas não leguminosas (DNL), e leguminosas (LG), e percentagem de cada um dos grupos, nas áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ), e nas áreas com radiação reduzida artificialmente (RR); considerando as parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG), em Abril de 2001 (01) e de 2002 (02).

A resposta da vegetação herbácea, no seu todo, à aplicação de fertilizantes e/ou de rega, foi de um modo geral superior nas áreas com radiação total (RT) do que nas áreas com radiação reduzida, quer por acção da copa de *Q. rotundifolia* (AZ), quer por acção da rede de sombra (RR) (Figura 3.5.1 e Anexo 3.5.1). Resposta semelhante observou-se para o grupo das gramíneas quando considerado individualmente (Figura 3.5.2 e Anexo 3.5.2). Todavia, a maior resposta dos grupos das dicotiledóneas não leguminosas e das leguminosas à fertilização alternou entre as áreas com radiação total (RT) e as áreas com radiação reduzida (AZ e RR). A alternância entre as áreas RT e AZ resultou do ano do corte, enquanto a alternância entre as áreas RT e AZ, resultou da fertilização ter ocorrido simultaneamente ou não com a rega (Figura 3.5.2 e Anexos 3.5.3 e 4).

Os acréscimos da produção da vegetação herbácea total observados nas áreas sem restrições de radiação (RT), relativamente às restantes áreas, apenas foram significativos, no caso da aplicação de rega (REG), em 2001, e no da aplicação de fertilizantes em simultâneo com a rega (FRG) em 2002 (Anexo 3.5.1). O acréscimo observado para as gramíneas apenas teve significado estatístico em 2002, no caso da aplicação de fertilizantes (FRT) (Anexo 3.5.2).

A vegetação herbácea do grupo das dicotiledóneas não leguminosas, nas áreas com radiação total, apresentou acréscimos significativos da produção, comparativamente às restantes áreas, no ano de 2001 no caso da aplicação de rega (Anexo 3.5.3). O grupo das leguminosas apresentou acréscimos significativos da produção em 2002, mas enquanto na resposta à rega (REG) estes foram superiores nas áreas com radiação total (RT), na resposta à fertilização (FRT) a superioridade verificou-se nas áreas do sob coberto da azinheira (AZ) (Anexo 3.5.4).

Embora a aplicação de fertilizantes e/ou rega tenha originado maiores produções da vegetação herbácea, em termos absolutos, nas áreas sem qualquer diminuição da radiação (RT), a razão entre as produções obtidas nas parcelas de cada um dos tratamentos (FRT, REG e FRG) e a das parcelas referência (REF), foi, na maioria dos casos maior nas áreas com diminuição da radiação (AZ e RR). Apenas em 2001, e no caso do grupo das dicotiledóneas não leguminosas, os três tratamentos apresentaram em simultâneo valores superiores da razão entre as produções das respectivas parcelas e as das parcelas referência, nas áreas RT (Anexo 3.5.5).

Nas áreas em que não ocorreu qualquer intercepção da radiação total (RT), a aplicação de fertilizantes e/ou rega, comparativamente às parcelas referência, aumentou significativamente a fitomassa e a biomassa no ano de 2001, mas no ano de 2002 apenas afectou a necromassa (Anexo 3.5.1). No sob coberto de *Q. rotundifolia* (AZ), esse efeito diferenciou de modo significativo a fitomassa e a biomassa das parcelas mas só em 2002. Nas áreas sombreadas artificialmente ou de radiação reduzida (RR), apenas a necromassa apresentou diferenças significativas em resultado da aplicação de fertilizantes e/ou rega, em qualquer um dos anos de estudo.

Os acréscimos da fitomassa e da biomassa da vegetação herbácea do grupo das gramíneas, por acção dos fertilizantes e/ou rega, comparativamente às parcelas referência (REF) apenas foram estatisticamente significativos nas áreas com radiação total (RT), e somente em 2002 (Anexo 3.5.2).

O grupo das dicotiledóneas não leguminosas não apresentou diferenças significativas na produção, em resultado da aplicação de fertilizantes e/ou rega, relativamente às parcelas sem tal aplicação (REF), em qualquer uma das áreas e anos de estudo (Anexo 3.5.3).

No ano de 2001, os acréscimos da fitomassa e da biomassa da vegetação herbácea do grupo das leguminosas, devidos à fertilização e/ou rega, comparativamente às parcelas referência (REF) apenas foram estatisticamente significativos nas áreas com radiação total (RT), mas no ano de 2002 tal apenas se verificou nas áreas dos sob coberto da azinheira (AZ) (Anexo 3.5.4).

Diferentes estudos em sistemas de características análogas às do montado, evidenciaram a ocorrência de uma diferenciação na disponibilidade em nutrientes no solo das áreas do sob coberto das árvores em relação às áreas fora da acção deste, com os teores mais elevados a ocorrerem nas primeiras (Belsky *et al.*, 1989, 1993; Belsky 1994; Dahlgren *et al.*, 1997, 2003; Ludwing, 2001). A menor disponibilidade em nutrientes no solo das áreas fora da acção das copas das árvores poderá originar limitações nutricionais ao desenvolvimento da vegetação herbácea dessas áreas, tendo como consequência uma resposta mais vigorosa da fitomassa das herbáceas à aplicação de fertilizantes. Este padrão tem sido observado em estudos com aplicação de fertilizantes em áreas sob e fora do sob coberto de árvores espaçadas (Belsky, 1994; Ludwing, 2001).

Em simultâneo com as limitações nutricionais, as características climáticas do local de estudo implicarão a ocorrência de limitações hídricas ao desenvolvimento da vegetação herbácea, as quais poderão ser atenuadas pelo efeito da copa da árvore, quer directamente na disponibilidade hídrica (Joffre & Rambal 1988, 1993), quer na redução da temperatura das áreas do sob coberto com a consequente diminuição da evapotranspiração (Belsky *et al.*, 1989, 1993). A aplicação de rega ao eliminar a limitação hídrica, principalmente nas áreas sem limitações de radiação (RT), terá permitido a realização dos processos fisiológicos das herbáceas de modo mais eficiente, e em consequência uma utilização mais ampla da radiação disponibilizada nessas áreas, com reflexo na resposta a esse tratamento.

A fertilização e/ou rega originaram, em 2001, um acréscimo das dicotiledóneas relativamente às gramíneas nas áreas RT e o inverso nas áreas AZ. Nas áreas RR a proporção entre gramíneas e dicotiledóneas apenas se alterou de modo evidente nas parcelas FRT em benefício das gramíneas (Figura 3.5.2).

O padrão observado em 2001 inverteu-se em 2002 nas parcelas com aplicação de fertilizantes (FRT e FRG), verificando-se um acréscimo da proporção de gramíneas nas áreas RT e da proporção de dicotiledóneas nas áreas AZ. Nas áreas com redução de radiação (RR) a proporção entre gramíneas e dicotiledóneas nas parcelas com aplicação de fertilizantes e ou rega foi bastante próxima da observada na parcela referência (REF).

De 2001 para 2002 foi notório um acréscimo na proporção do grupo da leguminosas em todas as parcelas das áreas RT e AZ, e nas parcelas REF das áreas RR. Pelo contrário

nas parcelas REG e FRG das áreas com redução de radiação este grupo diminui a sua proporção em 2002.

Tem sido evidenciado por diferentes estudos a modificação da composição florística do sob coberto comparativamente às áreas fora da acção da copa das árvores (Belsky *et al.*, 1989, 1993; Belsky, 1994; Scholes & Archer, 1997; Ludwing, 2001). Concomitantemente as árvores influenciam a proporção entre gramíneas e dicotiledóneas que ocorre nas áreas sob e fora da acção da copa (Ludwing, 2001). Este diferencial na composição florística das duas áreas justificará em parte a diferente resposta da vegetação herbácea aos vários tratamentos, bem como as diferenças observadas para os três grupos de plantas considerados.

Nas condições climáticas mediterrânicas, a composição florística das pastagens poderá estar dependente da ocorrência ou não da deficiência hídrica outonal (Espigares & Peco, 1995), verificando-se uma relação entre a precipitação total anual e a proporção entre gramíneas e leguminosas (Vásquez-de-Aldana *et al.*, 2000). As diferenças observadas entre os dois anos de estudo poderão ter resultado das duas situações, dado que a precipitação acumulada do período que decorreu entre o mês de Setembro do ano anterior ao do mês do corte, o mês do corte, foi de 982 mm no corte de 2001 e de 669 mm no corte de 2002, enquanto a quantidade de precipitação ocorrida no Outono foi de 2000 e 2001 foi, respectivamente, 50 e 220 mm (cf. 2.1.2).

Um outro factor que poderá ter contribuído para a diferenciação inter-anual, terá sido o ter-se procedido à remoção total da fitomassa das parcelas no final do período vegetativo do ano de 2001, pois de acordo com os estudos em *Acacia tortilis* efectuados por Belsky (1994), a resposta da vegetação herbácea das áreas em que houve remoção total dessa vegetação no período anterior, foi significativamente superior à das áreas em que não se efectuou tal procedimento.

Marañón & Bartolome (1993, 1994) em estudos realizados em áreas de pastagens com árvores da espécie *Q. agrifolia*, observaram que ao transferir blocos não disturbados de solo das áreas fora da copa para o sob coberto ou ao sujeitá-los a sombreamento artificial, ocorria uma redução acentuada na densidade total de plantas por acção da diminuição da radiação, com impacto mais acentuado nas espécies muito exigentes em luz, que chegaram mesmo a desaparecer. Estes dados vêm de encontro ao observado no presente estudo nas áreas com redução de radiação (RR).

3.5.1.2 Índice de área foliar (LAI)

O índice de área foliar (LAI) apresentou, em 2001, valores superiores nas áreas RT e RR, enquanto em 2002 os valores mais elevados ocorreram quase sempre nas áreas RT e AZ (Figura 3.5.3). De qualquer modo, este índice apenas apresentou diferenças significativas entre as três áreas de estudo, no caso do grupo das dicotiledóneas não leguminosas e apenas em 2002 (Anexo 3.5.6).

A fertilização teve como resultado, em 2001, um valor do LAI significativamente superior nas áreas AZ, mas apenas para o grupo das leguminosas. Em 2002, a mesma aplicação implicou valores do LAI significativamente superiores nas áreas AZ, quer para o total da vegetação herbácea, quer para o grupo das leguminosas. Neste mesmo ano as gramíneas também apresentaram valores de LAI significativamente superiores, mas nas áreas RT (Anexo 3.5.6).

Da aplicação de rega apenas resultaram valores significativamente superiores do LAI no ano de 2002, nas áreas RT, e apenas para o grupo das leguminosas. A aplicação simultânea de fertilização e rega apenas em 2002 determinou valores do LAI significativamente superiores nas áreas RR comparativamente às áreas RT e AZ, e apenas para o grupo das dicotiledóneas não leguminosas (Anexo 3.5.6).

O facto dos valores do LAI nas parcelas referência (REF) terem sido superiores nas áreas sem intercepção da radiação (RT), está em contradição com o observado por Sá (2001) em estudos nos quais comparou o LAI de herbáceas das áreas sob e fora da acção de *Q. suber*, em que os valores determinados foram mais elevados no sob coberto.

Comparativamente às parcelas referência (REF), as parcelas tratadas com fertilizantes e/ou rega (FRT, REG e FRG), só apresentaram acréscimos significativos do LAI da vegetação herbácea, nas áreas AZ, e apenas em 2002 (Anexo 3.5.6).

O grupo das gramíneas não manifestou qualquer diferenciação entre parcelas regadas e/ou fertilizadas e as parcelas de referência, em qualquer das áreas e dos anos de estudo.

No grupo das dicotiledóneas não leguminosas observou-se, em 2002, nas parcelas com fertilização (FRT e FRG), um acréscimo significativo dos valores do LAI nas áreas AZ e um decréscimo desses valores nas áreas RT, relativamente às parcelas referência (REF). A rega, por si só, não originou diferenças significativas entre os valores do LAI observados nas três áreas de estudo, neste grupo de plantas (Anexo 3.5.6).

Os valores do LAI do grupo das leguminosas das parcelas fertilizadas, nas áreas RT apresentaram padrão similar ao verificado para o grupo das dicotiledóneas não leguminosas (Anexo 3.5.6).

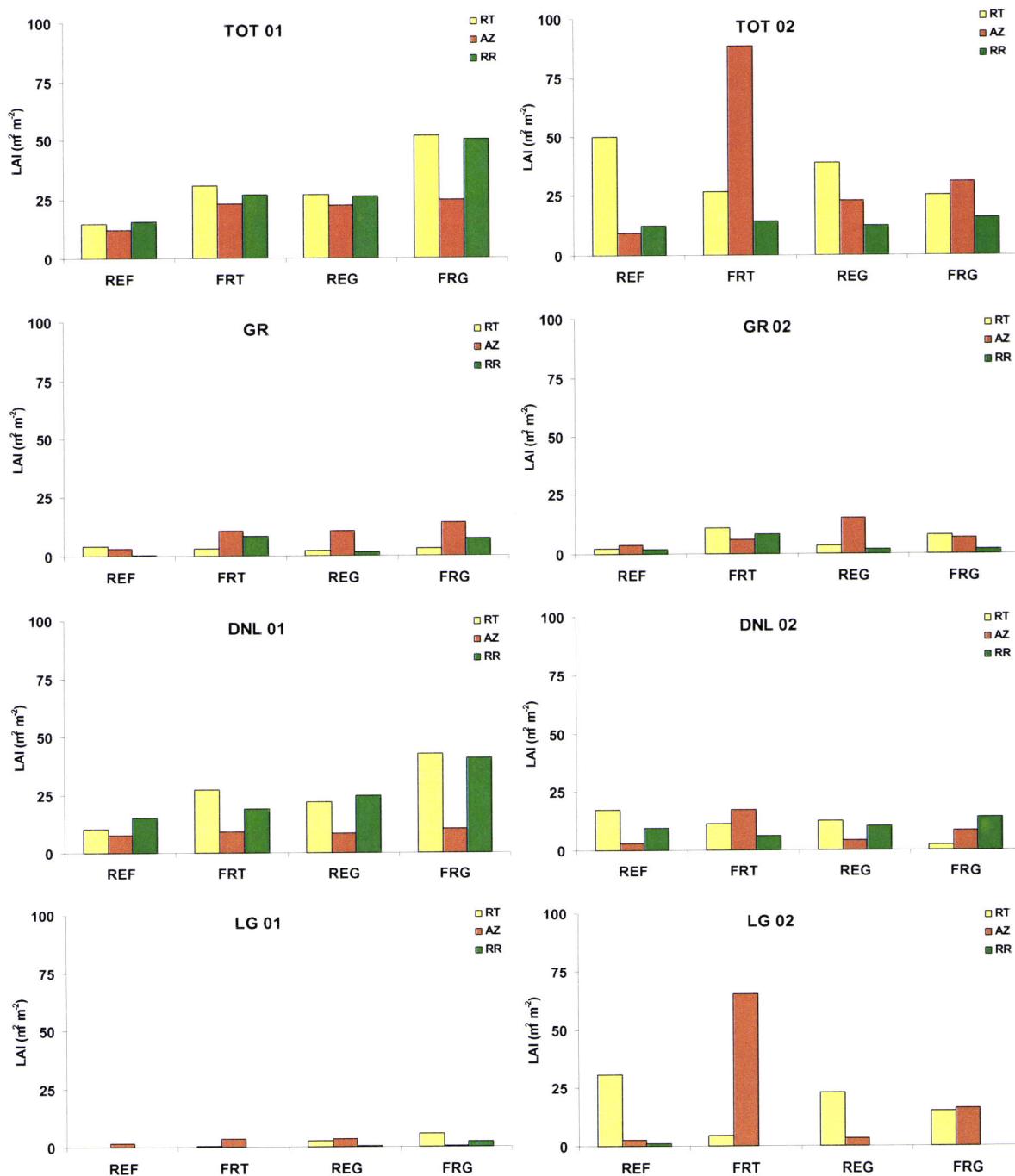


Figura 3.5.3 Valores médios ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) do índice de área foliar (LAI) da globalidade das herbáceas (TOT), do grupo das gramíneas (GR), do grupo das dicotiledóneas não leguminosas (DNL) e do grupo das leguminosas (LG); nas áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ), e nas áreas com cobertura de rede de sombra (RR), em parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG), fertilizadas e regadas (FRG) em Abril de 2001 (01) e de 2002 (02).

3.5.1.3 Razão do peso foliar (LWR)

A razão de peso foliar (LWR), em 2001 apresentou valores mais elevados nas áreas sombreadas artificialmente (RR), enquanto em 2002, os valores mais elevados ocorreram sempre nas áreas do sob coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) (Figura 3.5.4). De qualquer modo, os valores de LWR não diferiram significativamente entre as três áreas de estudo (RT, AZ e RR), em qualquer um dos anos (Anexo 3.5.7).

Embora sem diferirem significativamente dos observados nas áreas RT, os valores de LWR, quer do grupo das gramíneas, quer do grupo das dicotiledóneas não leguminosas, quer ainda do grupo das leguminosas, quando considerados individualmente, foram sempre superiores nas áreas em que se verificou intercepção da radiação, independentemente de esta se dever à acção da copa da *Q. rotundifolia* (AZ) ou à acção da rede de sombra (RR). O mesmo padrão foi observado nas parcelas dos tratamentos correspondentes à aplicação de fertilização e/ou da rega (REG e FRG), tanto na vegetação herbácea no seu todo, como separadamente nos três grupos considerados (Anexo 3.5.7). A aplicação de fertilizantes (FRT), em 2001 originou valores de LWR significativamente superiores nas áreas AZ, apenas no grupo das leguminosas, não se observando diferenças significativas em 2002 (Anexo 3.5.7).

O padrão observado neste estudo para os valores do LWR, contrariamente ao registado para os valores do LAI, está de acordo com os valores de LWR observados por Sá (2001), que foram mais elevados nas áreas sob a acção de *Q. suber*, do que nas áreas fora da acção desta.

Comparativamente às parcelas referência (REF), as parcelas com aplicação de fertilizantes e/ou rega (FRT, REG e FRG) não mostraram qualquer padrão definido, a não ser nas áreas sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ), que apresentaram, em 2002, valores de LWR menores do que os das parcelas de referência (REF), quer para a vegetação herbácea no seu todo quer para cada um dos três grupos considerados (Anexo 3.5.7).

A aplicação de fertilizantes e/ou rega apenas resultou em diferenças significativas entre as parcelas irrigadas e/ou fertilizadas (FRT, REG e FRG) e as parcelas de referência (REF), em 2002, nas áreas RT, com as parcelas fertilizadas (FRT e FRG) a apresentarem valores de LWR significativamente inferiores aos das parcelas REF (Anexo 3.5.7).

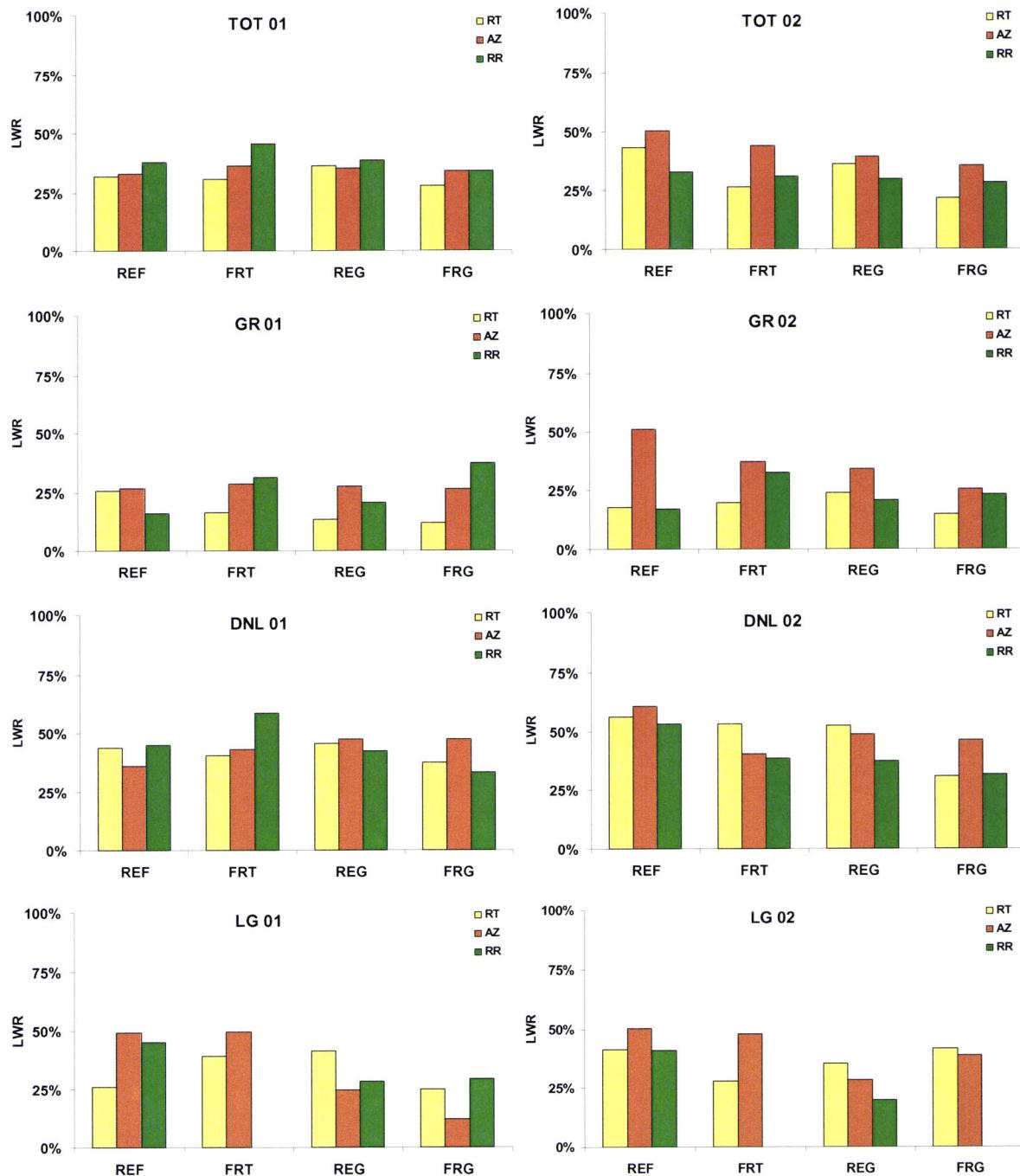


Figura 3.5.4 Valores médios da razão do peso foliar (LWR) da vegetação herbácea global (TOT), do grupo das gramíneas (GR), do grupo das dicotiledóneas não leguminosas (DNL) e do grupo das leguminosas (LG), nas áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e nas áreas com cobertura de rede de sombra (RR), em parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG), em Abril de 2001 (01) e de 2002 (02).

3.5.2 Concentração de nutrientes na biomassa

A concentração em N, P, K, Ca, Mg e Mn na biomassa da vegetação herbácea variou com o tipo de cobertura, o grupo de plantas, o tratamento e o ano do corte (Quadros 3.5.1 e 3.5.2).

De um modo geral as concentrações de N, P, K, Ca, Mg e Mn foram superiores nas áreas sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e nas áreas sombreadas artificialmente (RR) do que nas áreas sem redução de radiação (RT). Tendência semelhante foi também observada em montados de *Q. suber* na região de Évora (Sá, 2001) e em savanas com *Acácia tortilis* (Ludwing, 2001).

A biomassa da vegetação herbácea apresentou concentrações de N e Ca mais elevadas na áreas RR, o que poderá ter resultado de processos de compensação da elevada redução na radiação verificada nestas áreas, comparativamente à radiação registada quer nas áreas sem intercepção da radiação, quer nas áreas sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ).

A concentração de K foi sempre superior na biomassa das áreas em que se ocorreu intercepção da radiação (AZ e RR) e, além disso, foi maioritariamente superior na biomassa colhida nas áreas do sob coberto de *Q. rotundifolia* (AZ), este resultado poderá ser atribuído à maior disponibilidade deste nutriente no sob coberto em resultado da devolução ao solo de grandes quantidades deste nutriente; quer através da lixiviação das folhas pela precipitação, quer através da queda de folhada e posterior de composição.

Os valores da concentração de P, de Mg e de Mn foram mais elevados na maior parte dos casos (REF, FRT, REG e FRG dos diferentes grupos de plantas), para a biomassa colhida nas áreas do sob coberto de *Q. rotundifolia* (AZ).

A concentração de N, P, Ca, Mg e Mn na biomassa colhida nas áreas com radiação total (RT), atingiu pontualmente valores máximos só nos grupos das dicotiledóneas (dicotiledóneas não leguminosas e leguminosas).

Em cada uma das áreas de estudo consideradas individualmente (RT, AZ e RR), as parcelas referência (REF) apenas pontualmente apresentaram concentração dos diferentes nutrientes na biomassa mais elevados do que os medidos na biomassa das parcelas regadas e/ou fertilizadas (FRT, REG e FRG). Em 87% dos casos, em 2001, e 78%, em 2002, pelo menos um dos tratamentos apresentou concentrações superiores às determinadas para as parcelas referência, embora só excepcionalmente todos tratamentos apresentassem acréscimos de concentração em comparação com concentrações observadas nas parcelas REF.

Quadro 3.5.1 Concentração de N, P, K, Ca, Mg e Mn (mg g^{-1}) na biomassa por grupo de plantas (gramíneas, dicotiledóneas não leguminosas e leguminosas) nas áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e com radiação reduzida (RR), nas parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG), em Abril de 2001.

	Gramíneas			Dicot. não Legum.			Leguminosas		
	RT	AZ	RR	RT	AZ	RR	RT	AZ	RR
	mg g^{-1}								
N									
REF	7,91	10,48	11,11	11,47	12,16	11,74	27,97	28,99	28,80
FRT	7,38	13,50	11,10	10,45	12,96	14,37	27,87	25,47	0,00
REG	6,79	9,93	12,26	13,14	14,14	14,28	21,99	30,91	31,80
FRG	6,00	7,24	9,69	10,95	10,64	17,57	23,82	34,30	33,33
P									
REF	1,11	1,48	1,43	1,81	2,08	1,93	1,49	1,60	1,72
FRT	1,34	2,52	1,40	2,00	3,02	1,51	2,21	2,24	0,00
REG	1,13	1,22	1,16	2,13	1,67	2,05	1,54	1,42	2,24
FRG	1,56	1,79	2,25	2,43	2,89	2,45	2,00	2,42	2,54
K									
REF	11,00	16,73	13,10	16,78	25,04	27,82	12,05	23,10	13,14
FRT	10,47	26,71	14,00	13,79	30,24	14,79	8,36	22,62	0,00
REG	7,62	15,90	16,62	17,11	26,25	24,51	11,58	22,09	16,66
FRG	7,79	13,94	14,52	14,35	24,60	21,45	7,61	25,03	12,59
Ca									
REF	1,31	1,99	2,21	8,83	7,08	10,07	12,17	10,89	11,34
FRT	1,39	2,31	2,01	9,57	6,89	12,10	15,13	10,38	0,00
REG	1,28	2,08	2,18	9,83	7,54	10,31	8,09	11,18	14,05
FRG	1,53	2,03	2,08	8,08	7,26	11,29	9,14	14,78	20,95
Mg									
REF	0,71	1,14	0,83	2,18	3,28	2,73	2,35	2,82	2,45
FRT	0,74	1,26	0,73	2,43	3,13	3,15	2,46	3,28	0,00
REG	0,69	1,13	1,11	2,41	2,98	3,03	2,00	2,48	2,88
FRG	0,70	0,91	0,98	2,12	2,42	3,37	1,97	3,62	3,66
Mn									
REF	0,09	0,18	0,08	0,05	0,15	0,04	0,02	0,06	0,00
FRT	0,07	0,14	0,06	0,09	0,12	0,07	0,06	0,01	0,00
REG	0,10	0,12	0,08	0,17	0,13	0,09	0,03	0,01	0,05
FRG	0,08	0,19	0,09	0,12	0,20	0,08	0,03	0,04	0,06

Quadro 3.5.2 Concentração de N, P, K, Ca, Mg e Mn (mg g^{-1}) na biomassa por grupo de plantas (gramíneas, dicotiledóneas não leguminosas e leguminosas) nas áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e com radiação reduzida (RR), nas parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG), em Abril de 2002.

	Gramíneas			Dicot. Não Leguminosas			Leguminosas		
	RT	AZ	RR	RT	AZ	RR	RT	AZ	RR
	mg g^{-1}								
N									
REF	7,44	10,84	8,79	10,83	13,60	13,45	22,72	19,85	22,29
FRT	7,40	11,38	11,44	10,16	11,51	13,26	22,70	23,65	0,00
REG	7,12	7,01	11,31	13,70	11,46	14,73	21,84	22,84	24,28
FRG	8,70	9,60	11,32	16,85	10,79	14,74	24,43	23,31	0,00
P									
REF	1,58	1,36	1,79	2,29	2,54	1,93	1,63	1,63	1,54
FRT	2,18	3,47	2,98	2,39	3,89	3,59	2,17	2,46	0,00
REG	1,12	1,01	1,70	2,18	1,45	1,93	1,67	2,85	1,55
FRG	2,56	2,60	3,16	4,07	3,36	3,85	2,77	1,29	0,00
K									
REF	13,01	21,80	18,45	20,45	32,26	24,84	18,42	23,59	17,32
FRT	12,92	30,05	13,03	18,44	37,85	16,85	15,35	32,09	0,00
REG	11,31	24,94	18,40	21,80	29,47	23,06	17,29	19,84	11,05
FRG	11,49	18,63	16,18	21,31	24,95	21,90	15,54	24,93	0,00
Ca									
REF	1,31	1,34	1,57	9,35	7,72	6,36	8,50	7,54	6,18
FRT	1,50	1,91	2,21	7,09	9,35	10,36	8,91	8,61	0,00
REG	1,01	1,04	1,69	9,89	9,30	8,13	6,54	9,73	8,49
FRG	1,54	1,70	1,81	8,80	7,37	8,68	6,73	6,70	0,00
Mg									
REF	0,62	1,11	0,83	2,41	3,18	2,40	2,42	2,47	2,00
FRT	0,67	1,19	0,77	2,12	3,11	1,94	2,34	3,58	0,00
REG	0,55	0,93	0,94	2,66	3,07	2,74	1,71	2,79	2,31
FRG	0,64	0,87	0,91	2,53	2,32	2,53	1,81	1,78	0,00
Mn									
REF	0,12	0,16	0,07	0,11	0,15	0,12	0,11	0,02	0,03
FRT	0,07	0,24	0,06	0,07	0,11	0,08	0,02	0,02	0,00
REG	0,12	0,14	0,16	0,18	0,09	0,08	0,06	0,02	0,00
FRG	0,08	0,19	0,09	0,14	0,16	0,11	0,00	0,00	0,00

A tendência para a concentração em nutrientes ser mais elevada na biomassa das áreas em que se regista uma redução da radiação (AZ e RR), poderá resultar de um simples acréscimo de concentração devido à menor biomassa produzida nessas áreas, em consequência do stress motivado pela menor quantidade de luz que é interceptada pelo estrato herbáceo. Chapin (1980, 2003) refere que o acréscimo na concentração em

nutrientes num determinado tecido, representam decréscimos na eficiência de utilização de nutrientes na produção desse tecido, podendo ser atribuídos na presente situação à deficiente radiação que atinge o solo nessas áreas, como é o exemplo; dos acréscimos de Mn, os quais poderão ficar a dever-se a uma necessidade de compensação da eficiência fotossintética (Lawlor, 1991), ou dos acréscimos de N como forma de adaptação ao stress (Stewart, 1991).

Um outra hipótese explicativa, principalmente no que se às áreas AZ, residirá na diferente composição florística normalmente observada nas áreas do sob coberto das árvores comparativamente às áreas com a radiação total (Belsky *et al.*, 1989, 1993; Belsky, 1994; Scholes & Archer, 1997; Ludwing, 2001). Tem sido referido o facto de que espécies diferentes podem apresentar concentração em nutrientes diferente, como por exemplo; concentração diferenciada de Ca^{2+} em resultado de espécies diferentes possuírem capacidade diferenciada da sua utilização (White & Broadley, 2003), ou maior concentração de N em resultado da maior absorção de NO_3^- em espécies tolerantes ao sombreamento (Stewart, 1991).

Koerselman & Meuleman (1996) sugeriram que a razão N:P da vegetação pode ser um bom indicador de qual dos dois nutrientes é factor limitante para o crescimento das plantas em ecossistemas terrestres. Uma razão N:P superior a 15 indica uma limitação em P, enquanto razões inferiores a 12 implicam limitações em N. Quando as razões se encontram entre 12 e 15 ocorrerá uma co-limitação dos dois nutrientes ou então poderá ocorrer uma limitação em K.

No presente estudo, os valores da razão N:P no grupo das gramíneas e no grupo das dicotiledóneas não leguminosas foram sempre inferiores a 12, independentemente da área de estudo (RT, AZ e RR) ou da aplicação ou não de fertilizantes e/ou rega (REF, FRT, REG e FRG). As leguminosas apresentaram razões N:P superiores a 15 ou muito próximas deste valor, em resultado da sua capacidade de fixação de N.

Nas condições do presente estudo, e diferentemente do observado em estudos em savanas de *Acacia tortilis* (Ludwing, 2001), em que a produção da vegetação herbácea fora da acção da copa das árvores se encontrava limitada pelo N ($\text{N:P}<12$), e sob copa limitada pelo P ($\text{N:P}>15$), os valores da razão $\text{N:P} \leq 2$ determinados na biomassa dos grupos de plantas proporcionalmente mais importantes, sugerem que neste montado, a produção da vegetação herbácea nas áreas sob e fora do sob coberto estará limitada pela disponibilidade em N do solo.

3.5.3. Quantidade de nutrientes na biomassa

A quantidade de nutrientes na biomassa da vegetação herbácea foi, de um modo geral, superior nas áreas com radiação total (RT) relativamente às áreas sujeitas a interceptão da radiação (AZ e RR), embora apenas de modo significativo para o P e somente em 2002 (Figuras 3.5.5 a 3.5.7 e Anexo 3.5.8).

A biomassa do grupo das gramíneas apresentou maior quantidade de nutrientes nas áreas RT, embora as diferenças significativas apenas tenham sido observadas para o P, o K e o Mg e no ano de 2001 (Figuras 3.5.5 a 3.5.7 e Anexo 3.5.9).

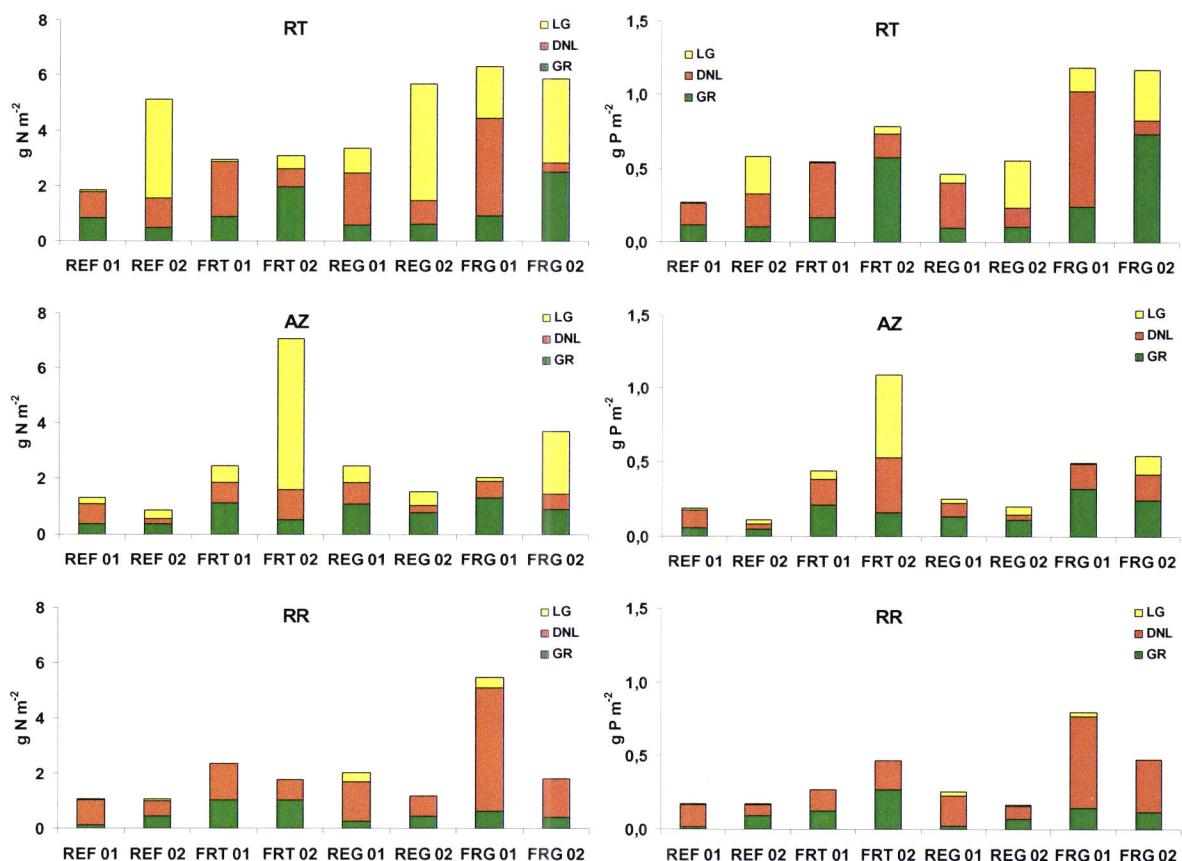


Figura 3.5.5 Valores médios da quantidade de N e P na biomassa total (g m^{-2}) de gramíneas (GR), dicotiledóneas não leguminosas (DNL) e leguminosas (LG), nas áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e nas áreas com radiação reduzida (RR), das parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG) em Abril de 2001 (01) e de 2002 (02).

A quantidade de nutrientes na biomassa do grupo das dicotiledóneas não leguminosas, em 2001 foi de um modo geral superior nas áreas sombreadas artificialmente (RR). Em 2002, as quantidades de nutrientes mais elevadas coincidiram com as áreas sem

intercepção da radiação (RT), todavia, apenas o N diferiu significativamente entre as três áreas, dada a quantidade mais elevada ter sido estimada nas áreas RT (Anexo 3.5.10).

A quantidade de nutrientes na biomassa do grupo das leguminosas foi, em 2001, mais elevada nas áreas do sob coberto de *Q. rotundifolia* (AZ), enquanto em 2002 o mesmo aconteceu nas áreas sem restrições radiação total (RT). Dos nutrientes considerados, apenas as quantidades de K e Mg apresentaram diferenças significativas entre as diferentes áreas, e apenas em 2002 (Anexo 3.5.11).

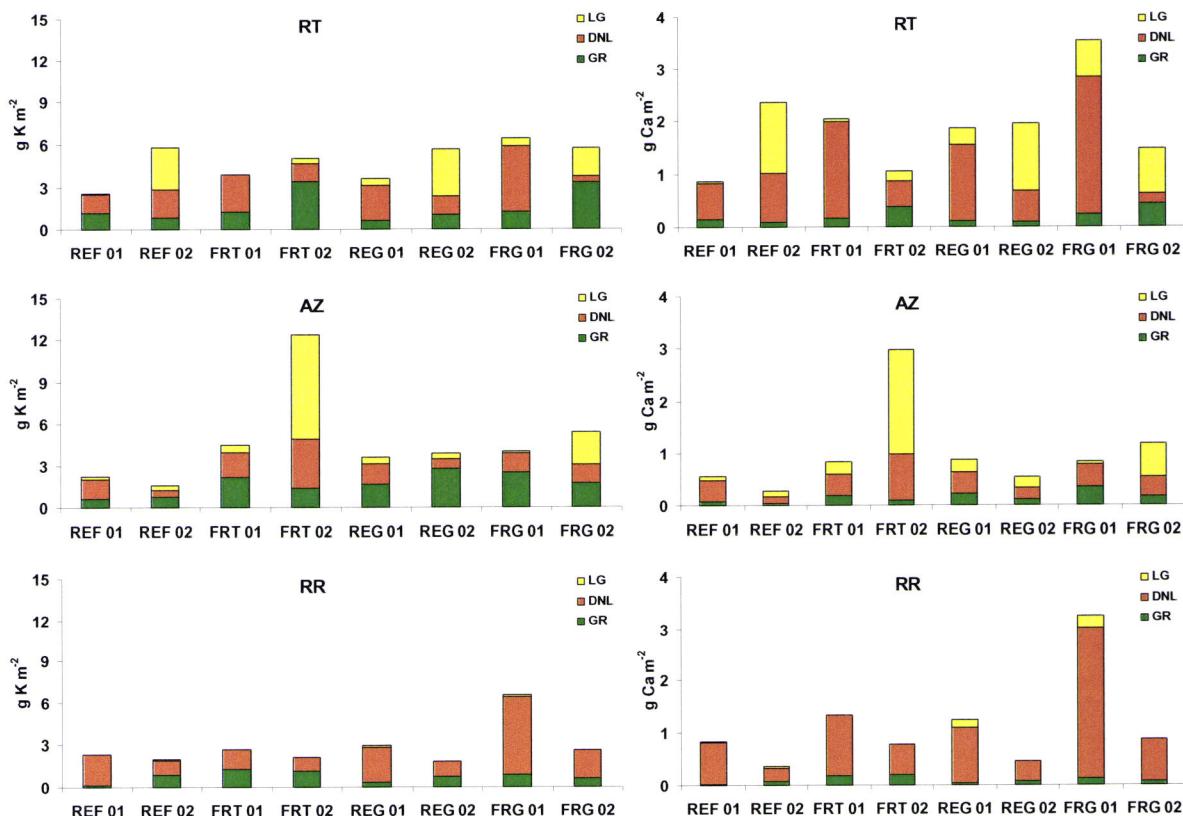


Figura 3.5.6 Valores médios da quantidade de K e Ca na biomassa total (g m^{-2}) de gramíneas (GR), dicotiledóneas não leguminosas (DNL) e leguminosas (LG), nas áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e nas áreas com radiação reduzida (RR), das parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG) em Abril de 2001 (01) e de 2002 (02).

A aplicação de fertilizantes (FRT) teve como resultado quantidades significativamente mais elevadas de N, K e Mg na biomassa da vegetação herbácea das áreas AZ; a quantidade de todos os nutrientes considerados, na biomassa do grupo das leguminosas no sob coberto, em 2002, também foi significativamente mais elevada, (Anexos 3.5.8 e 3.5.11).

A quantidade de nutrientes na biomassa do grupo das gramíneas, em resultado da fertilização, apenas diferiu significativamente entre as diferentes áreas, no ano 2002, para os nutrientes N, P, Ca e Mn, ocorrendo os valores mais elevados nas áreas RT (Anexo 3.5.9).

A aplicação de nutrientes não resultou em diferenças significativas na quantidade de nutrientes na biomassa das dicotiledóneas não leguminosas.

A rega (REG) teve como resultado, em 2001, quantidades significativamente mais elevadas: de Ca e Mg na biomassa da vegetação herbácea e de P na biomassa das dicotiledóneas não leguminosas, nas áreas RT; de N, P, K, Mg e Mn na biomassa das leguminosas, nas áreas AZ (Anexos 3.5.10 e 11). Este tratamento, em 2002, aumentou significativamente a quantidade de Mn na biomassa das dicotiledóneas não leguminosas, e a quantidade de todos os nutrientes considerados na biomassa das leguminosas, nas áreas RT (Anexos 3.5.10 e 11).

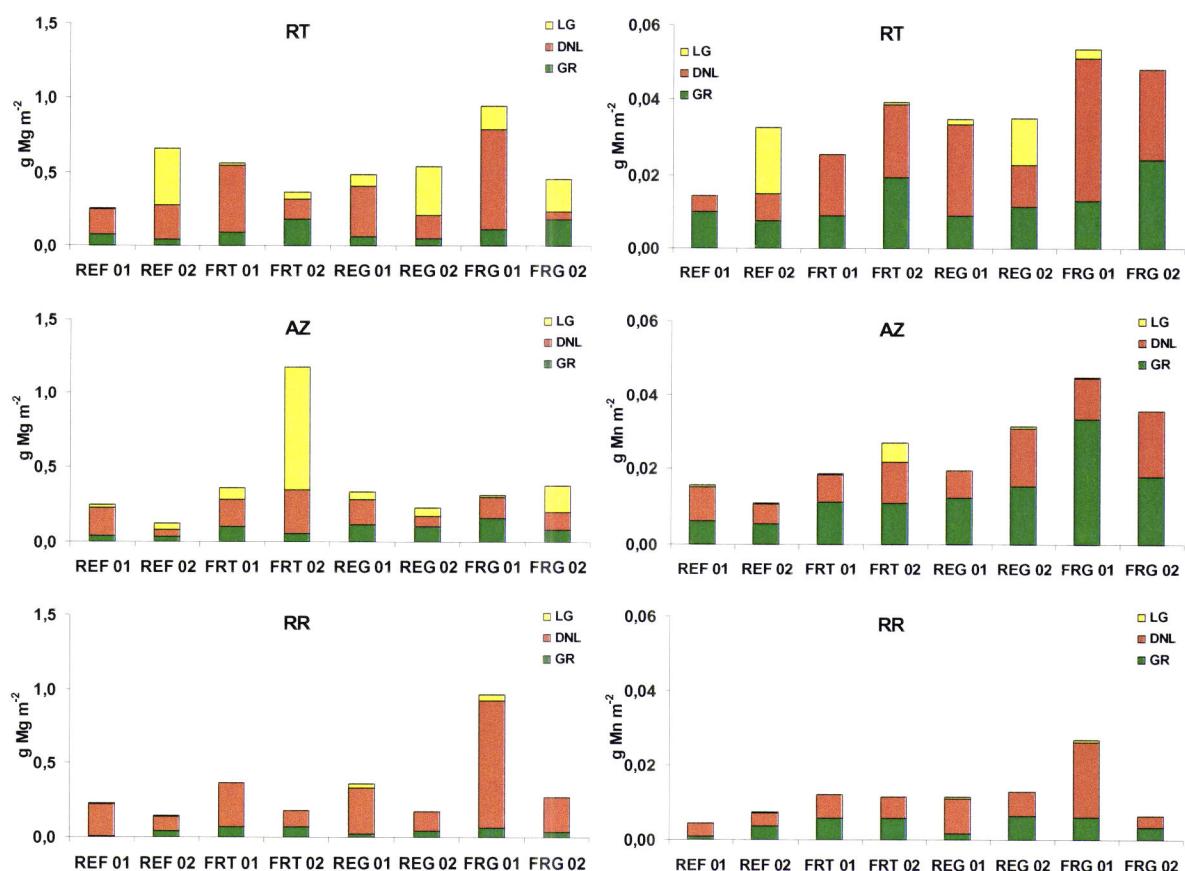


Figura 3.5.7 Valores médios da quantidade de Mg e Mn na biomassa total (g m^{-2}) de gramíneas (GR), dicotiledóneas não leguminosas (DNL) e leguminosas (LG), nas áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e nas áreas com radiação reduzida (RR), das parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG), em Abril de 2001 (01) e de 2002 (02).

A aplicação simultânea de fertilizantes e rega (FRG) diferenciou significativamente as quantidades de nutrientes na biomassa das áreas RT e AZ relativamente às áreas RR. Estas diferenças verificaram-se para a quantidade de N na biomassa da vegetação herbácea, e para a quantidade de P e K na biomassa das leguminosas, mas apenas em

2001. A quantidade de nutrientes na biomassa dos outros dois grupos de plantas não apresentou diferenças significativas entre as três áreas de estudo, (Anexos 3.5.9 e 10).

As concentrações mais elevadas em nutrientes na biomassa da vegetação das áreas com intercepção de radiação (AZ e RR), contrariamente ao verificado por Sá (2001) na biomassa da vegetação do sob coberto de *Q. suber*, não foram suficientes para contrabalançar as diferenças entre a biomassa da vegetação herbácea dessas áreas relativamente e a das áreas com radiação total (RT). Sublinha-se, no entanto, que em 2001, e para a biomassa das dicotiledóneas não leguminosas e leguminosas, respectivamente nas áreas RR e AZ, as concentrações mais elevadas verificadas na biomassa dessas áreas, resultou em quantidades de nutrientes superiores.

Nas áreas em que não ocorreu qualquer intercepção da radiação total (RT), a aplicação de fertilizantes e/ou rega, comparativamente às parcelas referência, aumentou significativamente a quantidade de N, P, K, Mg e Mn na biomassa da vegetação herbácea no ano de 2001; esta tendência não foi observada no ano de 2002. A quantidade de todos os nutrientes considerados na biomassa das gramíneas aumentou significativamente apenas nos tratamentos REG e FRG, mas somente em 2002. Apenas a quantidade de Mg na biomassa das dicotiledóneas não leguminosas apresentou acréscimos significativos, mas somente em 2001, e apenas nos tratamentos com rega (REG e FRG). As quantidades de todos os nutrientes analisados na biomassa das leguminosas, em 2001, foram significativamente superiores nos tratamentos com rega (REG e FRG); em 2002 apenas a quantidade de Mn na biomassa deste grupo de plantas, mostrou acréscimos significativos e apenas nas parcelas REG (Anexos 3.5.8 a 11).

No sob coberto de *Q. rotundifolia* (AZ), o efeito da aplicação de fertilizantes e/ou rega diferenciou, de modo significativo, a quantidade de P na biomassa da vegetação herbácea, com os valores mais elevados a ocorrem nas parcelas FRT e FRG, em 2001; em 2002, as quantidades de N e P significativamente mais elevadas verificaram-se na biomassa das parcelas anteriores, enquanto as quantidades de K, Ca e Mg na biomassa foram significativamente mais elevadas em todas os tratamentos. A quantidade de P, K, Ca e Mn, na biomassa das dicotiledóneas não leguminosas das áreas AZ, foi significativamente mais elevada nos tratamentos com aplicação de rega (REG e FRG) do que no tratamento referência, mas apenas em 2002. A biomassa do grupo das leguminosas apresentou quantidades significativamente mais elevadas de todos os nutrientes considerados nas parcelas com fertilização (FRT e FRG), mas somente em 2002 (Anexos 3.5.8, 10 e 11).

Nas áreas sombreadas artificialmente ou de radiação reduzida (RR), a quantidade de P da vegetação herbácea foi também significativamente mais elevada nos tratamentos com fertilização (FRT e FRG), do que nas parcelas REF, mas apenas em 2002 (Anexos 3.5.8 a 11).

3.5.4. Conclusões

Embora a presença *Q. rotundifolia* tenha resultado numa maior disponibilidade em nutrientes, e numa melhoria das condições micro climáticas conducentes a um menor stress hídrico, no sob coberto, os resultados do presente estudo parecem contrariar a hipótese da produção da vegetação herbácea ser influenciada positivamente. A forte redução da radiação solar devido à intercepção da copa da árvore será o principal factor responsável pelo decréscimo na produção nessa área, uma vez que as produções das áreas sombreadas pela copa das árvores (AZ) ou pela rede de sombra (RR) foram bastante semelhantes. Este facto poderá levar também a desvalorizar a importância da competição pelos nutrientes e pela água, que poderia verificar-se no sob coberto por acção das raízes da árvore.

Ainda que a concentração em nutrientes tenha sido mais elevada na biomassa da vegetação das áreas do sob coberto da azinheira, a redução da produção nessas áreas foi muito significativa, ao ponto da quantidade de nutrientes por unidade de áreas reflectir essa redução principalmente em 2002. A menor produção de biomassa nas áreas AZ poderá de algum modo compensada, pela melhoria na qualidade do alimento para os herbívoros em resultado da diferente estatuto nutritivo. Todavia a variação registada na produção de biomassa de 2001 para 2002, não permite concluir com segurança se a interacção entre a árvore e o estrato herbáceo deverá ser considerado do tipo complementar, competitivo ou neutral (Scholes & Archer, 1997). Este tipo de acompanhamento deverá ser conduzido durante um período mais largo de anos, de forma a permitir o estabelecimento de uma tendência.

A resposta à aplicação de nutrientes e rega não foi conclusiva, no sentido de se estabelecer em qual das áreas (RT e AZ) a resposta foi mais ou menos eficiente, de modo a ser possível propor fertilizações diferenciadas, consoante os montados apresentem maior ou menor cobertura arbórea. O facto de se ter trabalhado com um adubo binário e apenas com um nível de adubaçāo, não permite determinar com rigor que deficiências qualitativas e quantitativas em termos de macronutrientes principais se verificam em cada uma das duas áreas de amostragem.

Uma das razões que terá contribuído para essa resposta inconclusiva será a diferente composição florística dos bancos de sementes, das áreas com radiação total e do sob

coberto. A comparação entre as duas situações, recorrendo a misturas de sementes de melhor potencial produtivo e a diferentes esquemas de fertilização, poderá no futuro permitir a obtenção de resultados conducentes a respostas mais detalhadas quanto ao manejo mais favorável deste tipo de sistemas, no que concerne à fertilização e ao regadio.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do presente estudo confirmam que as árvores de *Quercus rotundifolia*, enquanto constituintes de formações de tipo montado, interagem com as áreas do sob coberto de forma semelhante à referida para as formações de tipo savana localizadas em regiões com características climáticas próximas das verificadas no Sul de Portugal. Nos montados, as azinheiras, mais ou menos isoladas, funcionam como captores de precipitação e de partículas, redistribuindo-as no sob coberto através do gotejo e do escorrimento ao longo do tronco. Concomitantemente, alteram as condições do microclima, as características físicas e químicas do solo e as taxas dos processos biogeoquímicos nas áreas sob a acção da copa da árvore, com impacto evidente na produção da vegetação herbácea.

Os valores de pH e a concentração das diferentes espécies iónicas na precipitação bruta foram semelhantes àqueles que ocorrem em locais pouco afectados pela acção antrópica. As quantidades de elementos incorporados no sistema através da precipitação bruta foram, de um modo geral, pouco significativas.

O gotejo e o escorrimento ao longo do tronco apresentaram uma concentração iónica significativamente mais elevada do que a verificada para a precipitação bruta, tendo-se igualmente observado, de um modo geral, uma diferenciação significativa com o aumento da distância ao tronco. A quantidade de nutrientes devolvida ao solo através do gotejo teve alguma relevância, nomeadamente para o Ca e K. Os nutrientes devolvidos ao solo pelo escorrimento ao longo do tronco, embora em quantidades pouco significativas em relação à área da projecção vertical da copa, assumem outra importância, ao considerarem-se diferentes zonas de influência deste fluxo. A diferenciação das características do solo sob coberto relativamente às zonas fora da área de influência da copa deverá estar em correspondência com o padrão de variação espacial da restituição de nutrientes ao solo pelo gotejo e escorrimento ao longo do tronco.

A copa de *Quercus rotundifolia* ao interceptar a radiação incidente, deu origem a reduções na ordem dos 55% a 65 % da radiação solar global e entre 75% a 88 % da radiação fotossintéticamente activa, relativamente à que atinge as áreas fora da acção do copado. A intercepção da radiação solar global incidente pela copa da azinheira diminui drasticamente a quantidade de radiação que atinge o solo no sob coberto, levando a que a temperatura do solo seja de um modo geral inferior nas áreas com coberto arbóreo relativamente às áreas fora da acção da copa da árvore, principalmente no trimestre de

Verão onde se verificaram diferenças próximas dos 4 °C entre as áreas de herbáceas com e sem presença de coberto arbóreo ao longo do perfil do solo.

A presença de árvores *Q. rotundifolia* em áreas de herbáceas, para além do impacto na quantidade de radiação que atinge o sob coberto, modifica o padrão da temperatura do solo, quer devido ao sombreamento, quer por alterar as características físicas e químicas do solo do sob coberto.

Os indivíduos de *Q. rotundifolia* criam portanto ilhas de acentuada qualidade e fertilidade do solo, comprovadas por um teor em nutrientes no sob coberto em geral 1,5 a 2 vezes superior ao observado nas áreas adjacentes. Por outro lado, a devolução ao solo de grandes quantidades de matéria orgânica nas áreas do sob coberto, originou uma melhoria considerável na estrutura do solo, com implicações evidentes na permeabilidade e na capacidade de retenção de água do solo.

A circunstância de no sob coberto se verificarem teores em N e C totais do solo mais elevados, características físicas do solo mais favoráveis e características pedoclimáticas diferenciadas, originou que o padrão de variação do teor de N no solo, embora sem diferir de forma apreciável entre o sob coberto e as áreas fora da acção deste, apresentasse teores mais elevados no primeiro do que no segundo. Uma qualidade do substrato mais favorável nas áreas do sob coberto contribui grandemente para a existência de taxas de mineralização mais elevadas. A presença da azinheira aumenta a taxa de respiração do solo, pois a existência de uma rede mais complexa de raízes e de microorganismos associados por um lado, e de um aumento da biomassa microbiana em resultado do acréscimo de matéria orgânica do solo por outro, resultará num incremento da respiração radicular e microbiana nas áreas do sob coberto.

Apesar da maior disponibilidade em nutrientes e da melhoria das condições microclimáticas conducentes a um menor stress hídrico, no sob coberto de *Q. rotundifolia*, a produção da vegetação herbácea não foi influenciada positivamente. A forte redução da radiação solar devido à intercepção da copa da árvore será o principal factor responsável pelo decréscimo na produção no sob coberto, uma vez que a produção da vegetação herbácea de áreas sombreadas naturalmente, pela copa das árvores, ou artificialmente, por rede de sombra, foi bastante semelhante.

O facto de se observarem, nas áreas do sob coberto, concentrações de nutrientes mais elevadas e, simultaneamente, uma produção da vegetação herbácea mais reduzida devido ao sombreamento, poderia conduzir à premissa: se as azinheiras reduzem a

produtividade anual das pastagens, haverá que proceder à sua remoção para promover uma melhor utilização do N e da água do solo. Esta prática foi adoptada em savanas de *Quercus douglasii* da região da Califórnia, e embora se tenha observado, nas áreas situadas anteriormente sob a copa, acréscimos significativos de produção herbácea comparativamente às áreas vizinhas, tal efeito desapareceu ao fim de apenas 15 anos (Jackson *et al.*, 1990; Dahlgren *et al.*, 1997, 2003).

Os solos do sob coberto funcionam como reservatório de N orgânico que vai sendo lentamente mineralizado, reabsorvido pelas raízes e novamente devolvido ao solo pela folhada. A remoção das azinheiras poderia dar origem a uma ruptura no ciclo do N levando a perdas por lixiviação ou desnitrificação (Jackson *et al.*, 1990).

De qualquer modo, parece evidente a necessidade de aprofundar o estudo do efeito da presença de *Q. rotundifolia* na produção da vegetação herbácea, utilizando misturas de plantas com maior potencial produtivo e em situações de maneio de pastagem mais intenso, permitindo assim obter resultados não tão fortemente afectados pelas diferenças nas populações florísticas existentes entre as áreas sob e fora da copa. Outra possível linha de estudo seria seleccionar, dentro das espécies herbáceas existentes no sistema, aquelas que apresentassem maior interesse agro-pecuário, avaliando-as nas condições mencionadas de modo a melhorar a gestão de sistemas naturais.

Do presente estudo ressalta ainda a necessidade de estudar as populações microbianas associadas ao ciclo do C e do N, permitindo uma melhor compreensão dos processos que estarão subjacentes às diferenças observadas entre o sob coberto e as áreas limítrofes.

BIBLIOGRAFIA

- Abrial, A., Caucás, V. & Bucher, E.H. 2001. Reliability of the in situ incubation methods used to asses nitrogen mineralization: a microbiological perspective. *Applied Soil Ecology*, **17**: 125-130.
- Adams, M.A. & Attiwill, P.M. 1991. Nutrient balance in forests of northern Tasmania. 1. Atmospheric inputs and within-stand cycles. *Forest Ecology and Management*, **44**: 93-113.
- Adamson, J.K., Hornung, M., Kennedy, V.H., Norris, D.A., Paterson, I.S. & Stevens, P.A. 1993. Soil solution chemistry and throughfall under adjacent stands of Japanese larch and Sitka spruce at three contrasting location in Britain. *Forestry*, **66(1)**: 51-68.
- Aguiar, F.B. & Grilo, J.T. 1975. *Carta de Solos da Herdade da Mitra*. Universidade de Évora, Évora (n/publicado).
- Akpo, L.E. 1997. Phenological interaction between tree and understorey herbaceous vegetation of a sahelian semi-arid savanna. *Plant Ecology*, **131**: 241-248.
- Andersen, M.K. & Jensen, L.S. 2001. Low soil temperature effects on short-term gross N mineralisation-immobilisation turnover after incorporation of a green manure. *Soil Biology and Biochemistry*, **33**: 511-521.
- Anderson, L.J., Brumbaugh & Jackson, R.B. 2001. Water and tree-understorey interactions: a natural experiment in a savanna with oak wilt. *Ecology*, **82(1)**: 33-49.
- Andrade, J.A., Abreu, F.G. & Madeira, M.V. 1993. Aplicação do modelo sinusoidal à variação da temperatura do solo em condições de solo nu e sob coberto. *Anais do Instituto Superior de Agronomia*, **43**: 233-253.
- Archer, N.A.L., Quinton, J.N. & Hess, T.M. 2002. Below-ground relationships of soil texture, rots and hydraulic conductivity in two-phase mosaic vegetation in South-east Spain. *Journal of Arid Environments*, **52**: 535-553.
- Attiwill, P.M. & Leeper, G.W. 1987. *Forest Soils and Nutrient Cycles*. Melbourne University Press, Victoria.
- Aikawa, M., Hiraki, T., Shoga, M. & Tamaki, M. 2001. Fog and precipitation chemistry at Mt. Rokko in Kobe, April 1997 – March 1998. *Water, Air and Soil Pollution*, **130**: 1517-1522.
- Azevedo, A.P.A. 2000. *Estudo da dinâmica do azoto e do carbono em plantações florestais intensivas*. Dissertação de Doutoramento. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

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.

Barbee, G.C. & Brown, K.W. 1986. Comparison between suction and free-drainage soil solution samplers. *Soil Science*, **141**: 149-154.

Bartsch, N. 2000. Element release in beech (*Fagus sylvatica* L.) forest gaps. *Water, Air and Soil Pollution*, **122**: 3-16.

Barbee, G. C. & Brown, K. W. 1986. Comparison between suction and free-drainage soil solution samplers. *Soil Science*, **141**: 149-154.

Bauhus, J. & Bartsch, N. 1995. Mechanisms for carbon and nutrient release and retention in beech forest gaps. *Plant and Soil*, **168-169**: 579-584.

Bell, G.E., Danneberger, T.K. & McMahon, M.J. 2000. Spectral irradiance available for turfgrass growth in sun and shade. *Crop Science*, **40**: 189-195.

Bellot, J. & Escarre, A. 1991. Chemical characteristics and temporal variations of nutrients in throughfall and stemflow of three species in Mediterranean holm oak forest. *Forest Ecology and Management*, **41**: 125-135.

Bellot, J., Ávila, A. & Rodrigo, A. 1999. Throughfall and stemflow. In F. Rodà, J. Retana, C.A. Gracia & J. Bellot (eds) *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests*. Ecological Studies 137, pp. 209-222. Springer-Verlag, Berlin.

Belsky, A.J. 1994. Influences of trees on savanna productivity: tests of shade, nutrients, and tree-grass competition. *Ecology*, **75(4)**: 922-932.

Belsky, A.J. & Amundson, R.G. 1998. Influence of savannah trees and shrubs on understorey grasses and soils: New directions in research. In L. Bergström & H. Kirchmann (eds) *Carbon and Nutrient Dynamics in Natural and Agricultural Tropical Ecosystems*. pp. 153-171. Cab International.

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. 1993. Comparative effects of isolated trees on their undercanopy environments in a high- and low-rainfall savannas. *Journal of Applied Ecology*, **30**: 143-155.

Bennett, L.T. & Adams, M.A. 1999. Indices for characterising spatial variability of soil nitrogen in semi-arid grassland of northwestern Australia. *Soil Biology and Biochemistry*, **31**: 735-746.

Berg, B. & Ekbohm, G. 1983. Nitrogen immobilization in decomposing needle litter at variable carbon: Nitrogen ratios. *Ecology*, **64(1)**: 63-67.

Berger, T.W. & Glatzel, G. 1994. Deposition of atmospheric constituents and its impacts on nutrient budgets of oak forests (*Quercus petraea* and *Quercus robur*) in Lower Austria. *Forest Ecology and Management*, **70**: 183-193.

Bispo, R.M.B. 2002. *Meteorologia da camada limite e deposição atmosférica numa superfície vegetal (*Eucalyptus globulus*)*. Dissertação de Doutoramento. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Brady, N.C. & Weil, R.R. 1999. *The Nature and Properties of Soils*. 12th ed. Prentice-Hall Inc., New Jersey.

Brandão, R.M.A. 1996. *Aerobiologia polínica e respectivas aplicações em estudos fenológicos e alergológicos – Uma análise das interacções no ambiente mesomediterrânico português (Alentejo: Sul de Portugal)*. Dissertação de Doutoramento. Universidade de Évora, Évora.

Breshears, D.D., Rich, P.M., Barnes, F.J. & Campbell, K. 1997. Overstory-imposed heterogeneity in solar radiation and soil moisture in a semiarid woodland. *Ecological Applications*, **7(4)**: 1201-1215.

Breshears, D.D., Nyhan, J.W., Heil, C.E. & Wilcox, B.P. 1998. Effects of woody plants on microclimate in a semiarid woodland: soil, temperature and evaporation in canopy and intercanopy patches. *International Journal of Plant Sciences*, **159(6)**: 1010-1017.

Bridgman, H.A. 1990. *Global Air Pollution – Problems for the 1990s*. Wiley Press, New York

Buczko, U., Bens, O. & Hüttl, R.F. 2004. Variability of soil water repellency in sandy forest soil with different stand structure under scots pine (*Pinus sylvestris*) and beech (*Fagus sylvatica*). *Geoderma*, In Press.

Capelo, J. H. 1996. Origem e diferenciação das paisagens florestais do Baixo Alentejo. *Revista Florestal*, Vol. IX, nº 3, pp. 72-81.

Cardoso, J.C. 1974. A Classificação dos Solos de Portugal - nova versão. *Boletim de Solos do S.R.O.A.*, **17**: 14-46.

Carvalhosa, A.B.; Carvalho, A.M.G. & Alves, C.A.M. 1969. Notícia explicativa da folha 40-A – Évora da *Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50000*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Castanheira, P.J.N. 1998. *Determinação da condutividade hidráulica saturada na ausência da toalha freática*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Évora, Évora.

Chang, S. & Matzner, E. 2000. The effect of beech stemflow on spatial patterns of soil solution chemistry and seepage fluxes in a mixed beech/oak stand. *Hydrological Processes* **14**: 135-144.

Chapin, F.S., III. 1980. The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **11**: 233-260.

Chapin, F.S., III. 2003. Effects of plant traits on ecosystem and regional processes: A conceptual framework for predicting the consequences of global change. *Annals of Botany*, **91**: 455-463.

Condeça, J.J.V. 1998. *Sistema aquífero das corneanas anfibólicas de Valverde*. Relatório do Trabalho de Fim de Curso. Universidade de Évora, Évora.

Colin, J.L., Jaffrezo, J.L., Pinard, J. & Roulette-Cadene, S. 1987. Sequential sampling of snow in a rural area. Experimentation and identification of the acidifying agents. *Atmospheric Environment*, **5**: 1147-1168.

Conant, R.T., Klopatek, J.M., Malin, R.C. & Klopatek, C.C. 1998. Carbon pools and fluxes along an environmental gradient in northern Arizona. *Biogeochemistry*, **43**: 43-61.

Conant, R.T., Klopatek, J.M. & Klopatek, C.C. 2000. Environmental factors controlling soil respiration in three semiarid ecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, **64**: 383-390.

Cortez, N.R.S. 1996. *Compartimentos e ciclos de nutrientes em plantações de Eucalyptus globulus Labill. ssp. globulus e Pinus pinaster Aiton*. Dissertação de Doutoramento. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

D.G.F. 1999. *Inventário Florestal Nacional. Distribuição da Floresta em Portugal Continental. Resumo*. Direcção Geral de Florestas., Lisboa.

Dahlgren, R.A., Singer, M.J. & Huang, X. 1997. Oak tree and grazing impacts on soil properties and nutrients in a California oak woodland. *Biogeochemistry*, **39**: 45-64.

Dahlgren, R.A., Horwath, W.R., Tate, K.T. & Camping, T.J. 2003. Blue oak enhance soil quality in California oak woodlands. *California Agriculture*, **57(2)**: 42-47.

Dancette, C. & Poulain, J. F. 1969. Influence of *Acacia albida* on pedoclimatic factors and crop yields. *African Soils*, **14**: 143-184.

David, T.M.S.B.S. 1996. *Intercepção da precipitação e transpiração em árvores isoladas de Quercus rotundifolia Lam*. Dissertação de Doutoramento. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Davidson, E.A., Hart, S.C. & Firestone, M.K. 1992. Internal cycling of nitrate in soils of a mature coniferous forest. *Ecology*, **73(4)**: 1148-1156.

Dirksen, C. 1999. *Soil physics measurements*. GeoEcology paperback, Catena Verlag, Germany.

Doer, S.H., Shakesby, R.A. & Walsh, R.P.D. 2000. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth-Science Reviews*, **51**: 33-65.

Dorich, R.A. & Nelson, D.W. 1983. Direct colorimetric measurement of ammonium in potassium chloride extracts of soils. *Soil Science Society of America Journal*, **47**: 833-836.

Draaijers, G.P.J., Erisman, J.W., Van Leeuwen, N.F.M., Römer, F.G., Te Winkel, B.H., Veltkamp, A.C., Vermeulen, A.T. & Wyers, G.P. 1997. The impact of canopy exchange on differences observed between atmospheric deposition and throughfall fluxes. *Atmospheric Environment*, **31**: 387-397.

Eaton, J.S., Likens, G.E. & Bormann, F.H. 1991. Throughfall and stemflow chemistry in a northern hardwood forest. *Journal of Ecology*, **61**: 495-508.

Edmonds, R.L., Thomas, T.B. & Rhodes, J.J. 1991. Canopy and soil modification of precipitation chemistry in a temperate rain forest. *Soil Science Society of America Journal*, **55**: 1685-1693.

Escarré, A., Carratalá, A., Ávila, A., Bellot, J., Piñol, J. & Millán, M. 1999. Precipitation chemistry and air pollution. In F. Roda, J. Retana, C.A. Gracia & J. Bellot (eds) *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests*. Ecological Studies 137, pp. 195-208. Springer-Verlag, Berlin.

Escudero, A.; Garcia, B., Gomez, J.M. & Luis, E. 1985. The nutrient cycling in *Quercus rotundifolia* and *Quercus pyrenaica* ecosystems («dehesas») of Spain. *Acta Ecologica/Ecologia Plantarum*, **6(20)**: 73-86.

Espigares, T. & Peco, B. 1993. Mediterranean pasture dynamics: the role of germination. *Journal of Vegetation Science*, **4**: 189-194.

Espigares, T. & Peco, B. 1995. Mediterranean annual pasture dynamics: impact of autumn drought. *Journal of Ecology*, **83**: 135-142.

Fang, C. & Moncrieff, J.B. 2001. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. *Soil Biology and Biochemistry*, **33**: 155-165.

Farrell, E.P., Cummins, T., Collins, J.F., Beier, C., Blanck, K., Bredemeier, M., Visser, P.H.B., Kreutzer, K., Rasmussen, L., Rothe, A. & Steinberg, N. 1994. A comparison of sites in the EXMAN project, with respect to atmospheric deposition and the chemical composition of the soil solution and foliage. *Forest Ecology and Management*, **68**: 3-14.

Feger, K.H., Brahmer, G. & Zöttl, H.W. 1990. Elements budgets of two contrasting catchments in the Black Forest (Federal Republic of Germany). *Journal of Hydrology*, **116**: 85-99.

Fernández-Vega, V. 1998. *Flujo de precipitación, pluviolavado y escorrentía cortical en la cuenca alta del río Sor. Aplicación de un balance de elementos al estudio de los*

efectos de la deposición atmosférica. Tesis Doctoral. Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela.

Forseth, I.N., Wait, D.A. & Casper, B.B. 2001. Shading by shrubs in a desert system reduces the physiological and demographic performance of an associated herbaceous perennial. *Journal of Ecology*, **89**: 670-680.

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. & McDougald, N. 1989. Tree canopy effect on herbaceous production of annual rangeland during drought. *Journal of Range Management*, **42(4)**: 281-283.

Gallardo, A., Rodríguez-Saucedo, J.J., Covelo, F. & Fernández-Alés. 2000. Soil nitrogen heterogeneity in a Dehesa ecosystem. *Plant and Soil*, **222**: 71-82.

Gallardo, A. 2003. Effect of tree canopy on the spatial distribution of soil nutrients in a Mediterranean Dehesa. *Pedobiologi*, **47**: 117-125.

Gauquelin, T., Fromard, F., Badri, W. & Dagnac, J. 1992. Apports d'éléments minéraux au sol par l'intermédiaire de la litière, des pluies et des pluviolessivats dans un peuplement à genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) du Haut Atlas occidental (Maroc). *Annales des Sciences Forestières*, **49**: 599-614.

Gersper, P.L. & Holowaychuk, N. 1970. Effects of stemflow water on a Miami soil under a beech tree: II. Chemical properties. *Soil Science Society of America Proceedings*, **34**: 786-794.

Giardina, C.P., Ryan, M.G., Hubbard, R.M. & Binkley, D. 2001. Tree species and soil textural controls on carbon and nitrogen mineralization rates. *Soil Science Society of America Journal*, **65**: 1272-1279.

Gill, K., Jarvis, S.C. & Hatch, D.J. 1995. Mineralization of nitrogen in long-term pasture soils: effects of management. *Plant and Soil*, **172**: 1153-162.

Godoy, R., Oyarzún, C. & Gerding, V. 2001. Precipitation chemistry in deciduous and evergreen *Nothofagus* forests of southern Chile under a low-deposition climate. *Geoderma*, **66**: 85-98.

Gonçalves, J.L.M. & Carlyle, J.C. 1994. Modelling the influence of moisture and temperature on net nitrogen mineralization in a forest sandy soil. *Soil Biology and Biochemistry*, **26**: 1557-1564.

Gonzalez, G. L. 1995. *La Guía de Incafo de los Árboles y Arbustos de la Península Ibérica*. Las guías verdes de incafo nº 4, 6^{ta} ed. Incafo, Madrid.

Gordon, W.S. & Jackson, R.B. 2000. Nutrient concentrations in fine roots. *Ecology*, **81**(1): 275-280.

Gower, C., Rowell, D.L., Nortcliff, S. & Wild, A. 1995. Soil acidification: comparison of acid deposition from the atmosphere with inputs from the litter/soil organic layer. *Basic and Applied Ecology*, **2**: 65-72.

Haines, B.L., Waide, J.B. & Todd, R.L. 1982. Soil solution nutrient concentrations sampled with tension and zero-tension lysimeters: report of discrepancies. *Soil Science Society of America Journal*, **46**: 658-661.

Hansen, E.A. & Harris, A.R. 1975. Validity of soil-water samples collected with porous ceramic coups. *Soil Science Society of America Proceedings*, **39**: 528-536.

Härdtle, W., von Oheimb, G. & Westphal, C. 2003. The effects of light and soil conditions on the species richness of the ground vegetation of deciduous forests in northern Germany (Schleswig-Holstein). *Forest Ecology and Management*, **182**: 327-338.

Harrison, A.F., Taylor, K., Hatton, J.C. & Howard, D.M. 1994. The role of nitrogen in herbage production by *Agrostis-Festuca* hill grassland. *Journal of Applied Ecology*, **31**: 351-360

Hart, S.C., Binkley, D. & Perry, D.A. 1997. Influence of red alder on soil nitrogen transformations in two conifer forests of contrasting productivity. *Soil biology and Biochemistry*, **168-169**: 623-632.

Haworth, K. & McPherson, G.R. 1995. Effects of *Quercus emoryi* trees on precipitation distribution and microclimatic in a semi-arid savanna. *Journal of Arid Environments*, **31**: 153-170.

Houba, V.J.G., Novozamsky, I. & Tenminghoff, E. 1994. *Soil Analysis Procedures*. Departement of Soil Science And Plant Nutrition, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.

Hussen, A.A. & Warrick, A.W. 1995. Tension infiltrometer for the measurement of vadose zone hydraulic properties. In L.G. Wilson, L.C. Everett & S.J. Cullen (eds) *Handbook of Vadose Zone Characterization & Monitoring*, pp. 189-201. Lewis Publishers.

Janssens, I.A., Kowalski, A.S., Longdoz, B. & Ceulemans, R. 2000. Assessing forest soil CO₂ efflux: an *in situ* comparison of four techniques. *Tree Physiology*, **20**: 23-32.

Janssens, I.A., Lankreijer, H., Matteucci, G., Kowalski, A.S., Buchmann, N., Epron, D., Pilegaard,K., Kutsch, W., Longdoz, B., Grünwald, T., Montagnani, L., Dore, S., Rebmann, C., Moors, E.J., Grelle, A., Rannik, Ü., Morgenstern, K., Oltchev, S., Clement, R., Gudmundsson, J., Minerbi, S., Berbigier, P., Ibrom, A., Moncrieff, J., Aubinet, M., Bernhofer, C., Jensen, N.O., Vesala, T., Granier, A., Schulze, E.-D., Lindroth, A., Dolman, A.J., Jarvis, P.G., Ceulemans, R. & Ceulemans, R.alentini, R. 2001. Productivity overshadows temperature in determining soil and ecosystem respiration across European forests. *Global Change Biology*, **7**: 269-278.

Jackson, L.E., Strauss, R.B., Firestone, M.K. & Bartolome, J.W. 1988. Plant and soil nitrogen dynamics in California annual grassland. *Plant and Soil*, **110**: 9-17.

Jackson, L.E., Strauss, R.B., Firestone, M.K. & Bartolome, J.W. 1990. Influence of tree canopies on grassland productivity and nitrogen dynamics in deciduous oak savanna. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **32**: 89-105.

Joffre, R., Morales, M.J.L., Rambal, S. & Fernandez, R. 1987. Dynamique racinaire et extraction de l'eau du sol par des graminées pérennes et annuelles méditerranéennes. *Œcologia Plantarum*, **8**: 181-194.

Joffre, R. & Rambal, S. 1988. Soil water improvement by trees in rangelands of southern Spain. *Acta OEcologica*, **9(4)**: 405-422.

Joffre, R. & Rambal, S. 1993. How tree cover influences the water balance of Mediterranean rangelands. *Ecology*, **74(2)**: 570-582.

Joedan, C.F. 1968. A simple, tension-free lysimeter. *Soil Science*, **105**: 81-86.

Kellman, M. & Sanmugadas, K. 1985. Nutrient retention by savanna ecosystems. I. Retention in the absence of fire. *Journal of Ecology*, **73**: 935-951.

Koch, A.S. & Matzner, E. 1993. Heterogeneity of soil and soil solution chemistry under Norway spruce (*Picea abies* Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) as influenced by distance from the stem basis. *Plant and Soil*, **151**:227-237.

Koerselman, W. & Meuleman, A.F.M. 1996. The vegetation N:P ratio a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *Journal of Applied Ecology*, **33**: 1441-1450.

Koh, K.J., Bell, G.E., Martin, D.L. & Walker, N.R. 2003. Shade and airflow restriction effects on creeping bentgrass golf greens. *Crop Science*, **43**: 2182-2188.

Kretinin, V.M. 1993. Change in soil properties in the tree trunk zone of forest windbreak belts. *Eurasian Soil Science*, **25**: 88-96.

Kristensen, H.L. & Henriksen, K. 1998. Soil nitrogen transformations along a successional gradient from *Calluna* heathland to *Quercus* forest at intermediate atmospheric nitrogen deposition. *Applied Soil Ecology*, **8**: 95-109.

Laporte, M.F., Duchesne, L.C. & Wetzel, S. 2002. Effect of rainfall patterns on soil surface CO₂ efflux, soil moisture, soil temperature and plant growth in a grassland ecosystem of northern Ontario, Canada: implications for climate change. *BMC Ecology*, **2**:10

Laverman, A.M., Zoomer, H.R., van Verseveld, H.W. & Verhoef, H.A. 2000. Temporal and spatial variation of nitrogen transformations in a coniferous forest soil. *Soil Biology and Biochemistry*, **32**: 1661-1670.

- Lawlor, D.W. 1991. Concepts of nutrition. In J.R. Porter & D.W. Lawlor (eds) *Plant Growth Interactions with Nutrition and Environment*, pp. 1-32, Cambridge University Press. Cambridge.
- Levia Jr, D.F. 2002. Nitrate sequestration by corticolous macrolichens during winter precipitation events. *International Journal of Biometeorology*, **46**: 60-65.
- Levia Jr, D.F. & Frost, E.E. 2003. A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and bio geochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. *Journal of Hydrology*, **274**: 1-29.
- Lovett, G.M. & Lindberg, S.E. 1984. Dry deposition and canopy exchange in a mixed oak forest as determined by analysis of throughfall. *Journal of Applied Ecology*, **21**: 1013-1027.
- Lovett, G.M. 1994. Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: An ecological perspective. *Ecological applications*, **4(4)**: 629-650.
- Ludwing, F. 2001. Tree-grass interactions on a East African savanna: The effects of competition, facilitation and hydraulic lift. *Tropical Resource Management Papers*, **39**. Wageningen University, Wageningen.
- Luo, J., Tillman, R.W. & Ball, P.R. 2000. Nitrogen loss through denitrification in a soil under pasture in New Zealand. *Soil Biology and Biochemistry*, **32**: 497-509.
- Marañón, T. & Bartolome, J.W. 1989. Seed and seedling populations in two contrasted communities: open grassland an oak (*Quercus agrifolia*) understory in California. *Acta Ecologica/Ecologia Plantarum*, **10(2)**: 147-148.
- Marañón, T. & Bartolome, J.W. 1993. Reciprocal transplants of herbaceous communities between *Quercus agrifolia* woodland and adjacent grassland. *Journal of Ecology*, **81**: 673-682.
- Marañón, T. & Bartolome, J.W. 1994. Coast live oak (*Quercus agrifolia*) effects on grassland biomass and diversity. *Madroño*, **41**: 39-52.
- Marques, R., Ranger, J., Gelhaye, D., Pollier, B., Ponette, Q. & Goedert, O. 1996. Comparison of chemical composition of soil solutions collected by zero-tension plate lysimeters with those from ceramic-cup lysimeters in a forest soil. *European Journal of Soil Science*, **47**: 407-417.
- Martens, S.N., Breshears, D.D. & Meyer, C.W. 2002. Spatial distributions of understory light along the grassland/forest continuum: effects of cover, height and spatial pattern of tree canopies. *Ecological Modelling*, **126**: 79-93.
- Mayer, V.H. Holst, T. & Schindler, D. 2002. Mikroklima in Buchensbestäden – Teil I: Photosynthetisch active strahlung. *Forstw. Cbl.*, **121**:301-321

Melià, N., Bellot, J. & Vallejo, V.R. 1999. Soil water chemistry. In F. Rodà, J. Retana, C.A. Gracia & J. Bellot (eds) *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests*. Ecological Studies 137, pp. 237-251. Springer-Verlag, Berlin.

Manéndez, I., Moreno, G., Gallardo, J.F. & Saavedra, J. 1995. Soil solution composition in forest soils of Sierra de Gata mountains, central-western Spain: relationship with soil water content. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, **62**: 337-349.

McClaren, M.P. & Bartolome, J.W. 1989. Effect of *Quercus douglasii* (Fagaceae) on herbaceous understorey along a rainfall gradient. *Madroño*, **36**: 141-153.

McColl, J.G. 1978. Ionic composition of forest soil solutions and effects of clearcutting. *Soil Science Society of America Journal*, **42**: 358-363.

Morecroft, M.D., Taylor, M.E. & Olivier, H.R. 2001. Air and soil microclimates of deciduous woodland compared to an open site. *Agricultural and Forest Meteorology*, **90**: 141-156.

Moreno, G., Gallardo, J.F. & Bussotti, F. 2001. Canopy modification of atmospheric deposition in oligotrophic *Quercus pyrenaica* forests of an unpolluted region (central-western Spain). *Forest Ecology and Management*, **149**: 47-60.

Mordelet, P. & Meneaut, J.C. 1995. Influence of trees on above-ground production dynamics of grasses in a humid savanna. *Journal of Vegetation Science*, **6**: 223-228.

Murphy, J. & Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, **27**: 31-36.

Muoghalu, J.I. & Oakhumen, A. 2000. Nutrient content of incident rainfall, throughfall and stemflow in a Nigerian secondary lowland rain forest. *Applied Vegetation Science*, **3**: 181-188.

Nadelhoffer, K.J., Aber, J.D. & Melillo, J.M. 1985. Fine roots, net primary production, and soil nitrogen availability: A new hypothesis. *Ecology*, **66(4)**: 1377-1390.

Nakos, G., Michopoulos, P., Baloutsos, G. & Economou, A. 2001. Deposition and streamwater characteristics in three forested experimental watersheds in Greece. *Proceedings of the 7th International Conference on Environmental Science and Technology*, pp. 651-658, Ermoupolis, Greece.

Nielsen, D.R. & Wendorf, O. 2003. *Spatial and Temporal Statistics*. GeoEcology paperback, Catena Verlag, Germany.

Nordén, U. 1991. Acid deposition and throughfall fluxes of elements as related to tree species in deciduous forests of south Sweden. *Water, Air and Soil Pollution*, **60**: 209-230.

Nunes, J.M.S.D. 1998. *Sistema de ciclo de nutrientes em árvores isoladas de Quercus rotundifolia Lam.*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Évora, Évora.

- Nunes, J.D., Sá, C., 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 Biologia*, **17**:311-325.
- Nunes, J. D., Sá, C., Soares-David, T., Madeira, M. & Gazarini, L. 2001. Influência de árvores isoladas de *Quercus rotundifolia* Lam.. nas características do solo. *Revista de Ciências Agrárias*, **24**:211-226.
- Nunes, J. D., Sá, C., Madeira, M. & Gazarini, L. 2002. Efeito da radiação, da folhada e do gotejo na produção de biomassa de vegetação herbácea em áreas de montado na região de Evora. *Revista de Ciências Agrárias*, **25**:498-507.
- Oke, T. 1978. *Boundary Layer Climates*. Halsted Press, London.
- Olivier, J.M.M. 1982. Efectos del arbolado de las dehesas sobre los factores ecológicos que actúan al nivel del sotobosque. *Anales INIA/Serie Forestal*, **5**: 61-85.
- Ong, C.K., Black, C.R., Wallace, J.S., Khan, A.A.H., Lott, J.E., Jackson, N.A., Howard, S.B. & Smith, D.M. 2000. Productivity, microclimate and water use in *Grevillea robusta*-based agroforestry systems on hillslopes in semi-arid Kenya. *Agriculture, Ecosystems and Environments*, **80**: 121-141.
- Parfitt, R.L., Percival, H.J., Dahlgren, R.A. & Hill, L.F. 1997. Soil and solution chemistry under pasture and radiate pine in New Zealand. *Plant and Soil*, **191**: 279-290.
- Parker, G.G. 1983. Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. *Advances in Ecological Research*, **13**: 57-133.
- Pastor, J., Aber, J.D., McClaugherty, C.A. & Melillo, J.M. 1984. Aboveground production and N and P cycling along a nitrogen mineralization gradient on Blackhawk Island, Wisconsin. *Ecology*, **65**(1): 256-268.
- Patra, A.K., Jarvis, S.C. & Hatch, D.J. 1999. Nitrogen mineralization in soil layers, soil particles and macro-organic matter under grassland. *Biology and Fertility of Soils*, **29**: 38-45.
- Paul, K.I., Polglase, P.J., O'Connell, A.M., Carlyle, C.J., Smethurst, P.J. & Khanna, P.K. 2002. Soil nitrogen availability predictor (SNAP): a simple model for predicting mineralization of nitrogen in forest soils. *Australian Journal of Soil Research*, **40**: 1011-1026.
- Paul, K.I., Polglase, P.J., O'Connell, A.M., Carlyle, C.J., Smethurst, P.J. & Khanna, P.K. 2003. Defining the relation between soil water content and net nitrogen mineralization. *European Journal of Soil Science*, **54**: 39-47.
- Paul, K.I., Polglase, P.J., Smethurst, P.J., O'Connell, A.M., Carlyle, C.J. & Khanna, P.K. 2004. Soil temperature under forests: a simple model for predicting soil temperature under a range of forest types. *Agricultural and Forest Meteorology*, **121**: 167-182.

Pereira, I.M.H.P. 2003. *Influenciada copa de Quercus rotundifolia Lam. na estrutura, intercepção da radiação, relações hídricas e microclima em Cistus salvifolius L.*. Dissertação de Doutoramento. Universidade de Évora, Évora.

Pereira, E.L. 2004. *Influência do Freixo no microclima, nas características do solo e disponibilidades de nutrientes, e na vegetação herbácea de lameiros do nordeste de Portugal*. Dissertação de Doutoramento. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Pestana, M.H. & Gageiro, J.N. 2000. *Análise de dados para Ciências Sociais – A Complementariedade do SPSS*. Edições Sílabo, Lisboa.

Piirainen, S., Finér, L. & Starr, M. 2002. Deposition and leaching of sulphate and base cations in a mixed boreal forest in Eastern Finland. *Water, Air, and Soil Pollution*, **133**: 185-204

Piñol, J., Alcañiz, J.M. & Rodà F. 1995 Carbon dioxide efflux and pCO₂ in soils of three *Quercus ilex* montane forests. *Biogeochemistry*, **30**: 191-215.

Potter, C.S., Ragsdale, H.L. & Swank, W.T. 1991. Atmospheric deposition and foliar leaching in a regenerating southern Appalachian forest canopy. *Journal of Ecology*, **79**: 97-115.

Priha, O. & Smolander, A. 1999. Nitrogen transformations in soil under *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula pendula* at two forest sites. *Soil Biology and Biochemistry*, **31**: 965-977.

Proe, M.F., Griffiths, J.H. & McKay, H.M. 2001. Effect of whole-tree harvesting on microclimate during establishment of second rotation forestry. *Agricultural and Forest Meteorology*, **110**: 141-154.

Raison, R.J., Connell, M.J. & Khanna, P.K. 1987. Methodology for studying fluxes of soil mineral-N *in situ*. *Soil Biology and Biochemistry*, **19**: 521-530.

Ranger, J., Discours, D., Mohamed, A.D., Moares, C., Dambrine, E., Merlet, E. & Rouiller, J. 1993. Comparaison des eaux liées et des eaux libres étudiées dans des sols de trois pessières vosgiennes : application à l'étude du fonctionnement actuel de ces sols et conséquences pour l'état sanitaire des peuplements. *Annales des Sciences Forestières*, **50**: 425-444.

Rapp, M. 1990. Nitrogen status and mineralization in natural and disturbed Mediterranean forests and coppices. *Plant and Soil*, **128**: 21-30.

Rapp, M., Regina, I.S., Rico, M. & Gallego, H.A. 1999. Biomass, nutrient content, litterfall and nutrient return to the soil in Mediterranean oak forests. *Forest Ecology and Management*, **119**: 39-49

Read, D.J. & Mitchell, D.T. 1983. Decomposition and mineralization process in Mediterranean-type ecosystems and in heathlands of similar structure. In F.J. Kruger,

P.T. Mitchell & J.U.M. Jarvis (eds) *Mediterranean Type Ecosystems. The Role of Nutrients*. pp. 208-232. Springer-Verlag, Berlin.

Reis, R.M.M. & Gonçalves, M.Z. 1985. Caracterização climática da região agrícola do Alentejo. *O Clima de Portugal*, Fascículo XXXIV, I.N.M.G., Lisboa.

Rey, M. X. G. 2002. *Efectos de la deposición atmosférica ácida sobre la dinámica del suelo y los ciclos biogeoquímicos en sistemas forestales de Galicia*. Tesis Doctoral. Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela.

Reynolds, B., Cape, J.N. & Paterson, I.S. 1989. A comparison of element fluxes in throughfall beneath Larch and Stika Spruce at two contrasting sites in the United Kingdom. *Forestry*, **62**(1): 29-39.

Robertson, G.P. & Vitousek, P.M. 1981. Nitrification in primary and secondary succession. *Ecology*, **62**(2): 376-386.

Rodà, F., Àvila, A. & Bonilla, D. 1990. Precipitation, throughfall, soil solution and stream-water chemistry in a holm-oak (*Quercus ilex*) forest. *Journal of Hydrology*, **116**: 167-183.

Rodà, F.; Àvila, A. & Rodrigo, A. 2002. Nitrogen deposition in Mediterranean forests. *Environmental Pollution*, **118**: 205-213.

Rodrigo, A. & Àvila, A. 2002. Dry deposition to the forest canopy an surrogate surfaces in two Mediterranean Holm oak forests in Montseny (NE Spain). *Water, Air and Soil Pollution*, **136**: 269-288.

Rodrigo, A., Àvila, A., Rodà, F. 2003. The chemistry of precipitation, throughfall and stemflow in two Holm oak (*Quercus ilex* L.) forests under a contrasted pollution environment in NE Spain. *The Science of the Total Environment*, **305**: 195-205.

Rovira, P. & Vallejo, V.R. 1997. Organic carbon and nitrogen mineralization under Mediterranean climatic conditions: the effects of incubation depth. *Soil Biology and Biochemistry*, **29**: 1509-1520.

Rhoades, J.D. & Oster, J.D. 1986. Solute content. In A. Klutin (eds) *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph nº 9. 2nd ed., pp. 985-1006. America Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.

Ryan, P.J. & McGarity, J.W. 1983. The nature and spatial variability of soil properties adjacent to large forest eucalypts. *Soil Science Society of America Journal*, **47**:286-293.

Sá, C.M.M.S.S. 2001. *Influência do coberto arbóreo (*Quercus suber* L.) em processos ecofisiológicos da vegetação herbácea em áreas de montado*. Dissertação de Doutoramento. Universidade de Évora, Évora.

- Sato, K. & Wakamatsu, T. 2001. Soil solution chemistry in forests with granite bedrock in Japan. *Water, Air and Soil Pollution*, **130**: 1001-1006.
- Schaefer, R. 1973. Microbial activity under seasonal conditions of drought in Mediterranean climates. In F. Di Castri & H.A. Mooney (eds) *Mediterranean Type Ecosystems. Origin and Structure*. pp. 191-198. Springer-Verlag, Berlin.
- Schlesinger, W.H. & Andrews, J.A. 2000. Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry*, **48**: 7-20.
- Scholes, R.J. & Archer, S.R. 1997. Tree-grass interactions in savannas. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **28**: 517-544.
- Scott, D.F. 2000. Soil wettability in forested catchments in South Africa; as measured by different methods and as affected by vegetation cover and soil characteristics. *Journal of Hydrology*, **231-232**: 87-104.
- Seiler, J. & Matzner, E. 1995. Spatial variability of throughfall chemistry and selected soil properties as influenced by stem distance in a mature Norway spruce (*Picea abies*, Karst.). *Plant and Soil*, **176**: 139-147.
- Seinfeld, J.H. 1986. *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*. John Wiley & Sons, New York.
- Serrasolses, I. & Vallejo, V.R. 1999. Soil fertility after fire and clear-cutting. In F. Rodà, J. Retana, C.A. Gracia & J. Bellot (eds) *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests*. Ecological Studies 137, pp. 315-328. Springer-Verlag, Berlin.
- Serrasolses, I., Diego, V. & Bonilla, D. 1999. Soil nitrogen dynamics. In F. Rodà, J. Retana, C.A. Gracia & J. Bellot (eds) *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests*. Ecological Studies 137, pp. 223-235. Springer-Verlag, Berlin.
- Shepherd, K.R. 1986. *Plantation Silviculture*. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht.
- Silva-Pando, F.J., González-Hernández, M.P. & Rozados-Lorenzo, M.J. 2002. Pasture production in a silvopastoral system in relation with microclimate variables in the Atlantic coast of Spain. *Agroforestry Systems*, **56**: 203-211.
- Simões, M.P.D. 2002. *Dinâmica de biomassa (carbono) e nutrientes em Cistus salviifolius L. e Cistus ladanifer L. Influência nas características do solo*. Dissertação de Doutoramento. Universidade de Évora, Évora.
- Sokal, R.R. & Rolf, F.J. 1995. *Biometry*. 3rd ed. W. H. Freeman and Company, New York.
- Sollins, P., Grier, C.C., McCorisson, F.M., Cromack Jr, K., Fogel, R. & Fredriksen, R.L. 1980. The internal element cycles of an old-growth Douglas-fir ecosystem in western Oregon. *Ecological Monographs*, **50(3)**: 261-285.

Sprent, P. 1993. *Applied nonparametric statistical methods*. 2nd ed. Chapman & Hall, London.

Stevens, P.A. 1987. Throughfall chemistry beneath Stika spruce of four ages in Beddgelert Forest, North Wales, U.K.. *Plant and Soil*, **101**: 291-294.

Stevens, P.A., Hornung, M. & Hughes, S. 1989. Solute concentrations, fluxes and major nutrient cycles in a mature stika-spruce plantation in Beddgelert Forest, North Wales. *Forest Ecology and Management*, **27**: 1-20.

Stewart, G.R. 1991. The comparative ecophysiology of plant nitrogen metabolism. In J.R. Porter & D.W. Lawlor (eds) *Plant Growth Interactions with Nutrition and Environment*, pp. 81-98, Cambridge University Press. Cambridge.

Stottlemyer, R. & Hanson Jr., D.G. 1989. Atmospheric deposition and ionic concentrations in forest soils of Isle Royale National Park, Michigan. *Soil Science Society of America Journal*, **53**: 270-274.

Stump, L.M. & Binkley, D. 1993. Relationships between litter quality and nitrogen availability in Rocky Mountain forests. *Canadian Journal of Forest Research*, **53**: 270-274.

Takahashi, A., Sato, K., Wakamatsu, T. & Fujita, S. 2001. Atmospheric deposition of acidifying components to a Japanese cedar forest. *Water, Air and Soil Pollution*, **130**: 559-564.

Theodore, T.A. & Martin, J. 2003. Microclimate and substrate quality controls on nitrogen mineralization in a New England high salt marsh. *Plant Ecology*, **167**: 213-221.

Tietema, A., Lenting, E., Warmerdam, B. & Riemer, L. 1992. Abiotic factors regulating nitrogen transformations in the organic layer of acid forest soils: moisture and pH. *Plant and Soil*, **147**: 69-78.

Tietema, A., Riemer, L., Verstraten, J.M., van der Maas, M.P., van Wijk, A.J. & van Voorthuyzen, I. 1993. Nitrogen cycling in acid forest soils subject to increased atmospheric nitrogen input. *Forest Ecology and Management*, **57**: 29-44.

Tokuchi, N., Takeda, H. & Iwatsubo, G. 1993. Vertical changes in soil solution chemistry in soil profiles under coniferous forest. *Geoderma*, **59**: 57-73.

Tutin, T.G., Heywood, V.H., Burges, N.A., Moore, D.M., Valentine, D.H., Walters, S.M. & Webb, D.A. 1990. *Flora Europaea*. Vol. 4. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Tutin, T.G., Heywood, V.H., Burges, N.A., Moore, D.M., Valentine, D.H., Walters, S.M. & Webb, D.A. 1991. *Flora Europaea*. Vol. 5. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Tutin, T.G., Heywood, V.H., Burges, N.A., Moore, D.M., Valentine, D.H., Walters, S.M. & Webb, D.A. 1992. *Flora Europaea*. Vol. 3. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Tutin, T.G., Heywood, V.H., Burges, N.A., Moore, D.M., Valentine, D.H., Walters, S.M. & Webb, D.A. 1996. *Flora Europaea*. Vol. 1, 2nd ed. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Tutin, T.G., Heywood, V.H., Burges, N.A., Moore, D.M., Valentine, D.H., Walters, S.M. & Webb, D.A. 1996_a. *Flora Europaea*. Vol. 2. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Ulrich, B. 1983. Interaction of forest canopies with atmospheric constituents: SO₂, alkali and earth alkali cations and chloride. In B. Ulrich & J. Pankrath (eds) *Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems*. pp. 33-45. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.

Ugolini, F.C., Minden, R., Dawson, H. & Zachara, J. 1977. An example of soil processes in the *Abies amabilis* zone of Central Cascades, Washington. *Soil Science*, **124**(5): 291-301.

Ugolini, F.C., Dahlgren, R., Shoji, S. & Ito, T. 1988. An example of andosolization and podzolization as revealed by soil solution studies, southern Hakkoda, northeastern Japan. *Soil Science*, **145**(2): 111-125.

van Ek, R. & Draaijers, E. 1994. Estimates of atmospheric deposition and canopy exchange for three common tree species in the Netherlands. *Water, Air and Soil Pollution*, **73**: 61-82.

Vázquez-de-Aldana, B.R., García-Ciudad, A., Pérez-Corona, M.E. & García-Criado, B. 2000. Nutritional quality of semi-arid grassland in western Spain over 10-year period: changes in chemical composition of grasses, legumes and forbs. *Grass and Forage Science*, **55**: 209-220.

Velthorst, E.J. & Van Breemen, N. 1989. Changes in the composition of rainwater upon passage through the canopies of trees and of ground vegetation in a Dutch oak-birch forest. *Plant and Soil*, **119**: 81-85.

Veneklaas, E.J. 1990. Nutrient fluxes in bulk precipitation and throughfall in two montane tropical rain forests, Colombia. *Journal of Ecology*, **78**: 974-992.

Vestgarden, L.S., Selle, L.T. & Stuanes, A.O. 2003. *In situ* soil nitrogen mineralisation in a Scots pine (*Pinus sylvestris*) stand: effects of increased nitrogen input. *Forest Ecology and Management*, **176**: 205-216.

Vitousek, P.M., Goz, J.R., Grier, C.C., Melillo, J.M. & Reiners, W.A. 1982. A comparative analysis of potential nitrification and nitrate mobility in forest ecosystems. *Ecological Monographs*, **52**: 155-177.

Vitousek, P.M. & Matson, P.A. 1985. Disturbance, nitrogen availability, and nitrogen losses in a intensively managed Loblolly Pine plantation. *Ecology*, **66**(4): 1360-1376.

Vitousek, P.M. & Howarth, R.W. 1991. Nitrogen limitation on land and in the sea-how can it occur?. *Byogeochemistry*, **13**: 87-115.

- Voigt, G.K. 1960. Distribution of rainfall under forest stands. *Forest Science*, **6**: 2-10.
- Walter, H. & Lieth, H. 1960. *Klimadiagramm - Weltatlas*. Jena, Fischer Verlag, Deutschland.
- Weltzin, J.F. & Coughenour, M.B. 1990. Savanna tree influence on understorey vegetation and soil nutrients in northwestern Kenya. *Journal of Vegetation Science*, **1**: 325-334.
- Whelan, M.J., Sanger, L.J., Baker, M. & Anderson, J.M. 1998. Spatial patterns of throughfall and mineral ion deposition in a lowland Norway spruce (*Picea abies*) plantation at the plot scale. *Atmospheric Environment*, **32**: 3493-3501.
- White, P.J. & Broadley, M.R. 2003. Calcium in plants. *Annals of Botany*, **92**: 487-511.
- Whitehead, D.C. 1995. *Grassland Nitrogen*. CAB International, Wallingford.
- Wolaver, T.G. & Lieth, H. 1972. *U.S. Precipitation Chemistry. Theory and Quantitative Models*. University of North Carolina, Division of Ecology Research, Chapel Hill.
- Wolfe, M.H., Kelly, J.M. & Wolt, J.D. 1987. Soil pH and extractable sulfate-sulfur distribution as influenced by tree species and distance from the stem. *Soil Science Society of America Journal*, **51**: 1042-1046.
- Wong, M.T.F. & Nortcliff, S. 1995. Seasonal fluctuations of native available N and soil management implications. *Fertilizer Research*, **42**: 13-26.
- Yirdam, E. & Luukkanen, O. 2004. Photosynthetically active radiation transmittance of forest plantation canopies in the Ethiopian highlands. *Forest Ecology and management*, **188**:17-24.
- Zhao, W.G., Olioso, A., Lagouarde, J., Bonnefond, J., Irvine, M., Kerr, Y., McAneney, J. & Marloie, O. 2002. Estimation of aerodynamics parameters under non-neutral stability conditions from Alpilles measurement data. *Agronomie*, **22**: 619-625.
- Zhao, W., Qualls, R.J. & Berliner, P.R. 2003. Modeling of the short wave radiation distribution in an agroforestry system. *Agricultural and Forest Meteorology*, **118**: 185-206.
- Zinke, P.J. 1962. The pattern of influence of individual forest trees on soil properties. *Ecology*, **43** (1): 130-133.

ANEXOS

2.1 Anexos da Área e sistemas experimentais

Anexo 2.1.1 Dados climatológicos da Estação Meteorológica ÉVORA/Mitra para o período de 1958-88 (<http://agricultura.isa.utl.pt/agricultura/agribase/estações.asp>)

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Prec. Med. (mm)	96,1	93,6	67,2	56,4	39,5	29,9	7,7	3,5	26,1	67,9	80,4	92,4	660,7
Nº de dias >0,1 mm	15	14	12	11	9	5	2	1	5	10	12	13	109
Nº de dias >1 mm	10	10	8	8	5	3	1	0	3	7	9	9	73
Nº de dias >10,0 mm	3	3	2	2	1	1	0	0	1	2	3	3	21
Temp. Méd. Diária (°C)	9,4	10,1	11,6	13,5	16,2	20	22,8	23,1	21,5	17,1	12,7	10	15,7
Média da Temp. Máx.(°C)	12,7	13,6	15,7	18	21,5	26,1	29,8	29,7	27,3	21,6	16,3	13	20,4
Média da Temp. Mín.(°C)	6,2	6,6	7,7	9	11	13,9	15,8	16,1	15,5	12,7	9,1	6,7	10,9
Temp. Máx. Abs.(°C)	17	19	22,1	25	29,8	34,4	37	36,7	34,5	28,5	22	17,3	37
Temp. Mín. Abs.(°C)	1,3	1,9	3,1	4,7	6,7	9,7	12	12,1	11	8,1	5	1,1	1,1
H. R. Ar 9 h. (%)	88	86	82	82	80	78	75	72	76	81	84	87	81
Nº de dias de Geada	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3	8
Insolação Total (h.)	143,6	147,2	196,6	224,9	282,5	303,9	366,5	3 5 0	250,7	207,8	157,9	147,5	2779,20
E v a p o r a ç ã o	44,6	62,2	78,4	111,6	131,6	209,9	279,9	279,1	201,9	100,2	58,2	45,0	1601,9
Velocidade Méd. do Vento (km/h)	15,4	16,1	16,3	15,8	16,5	15,9	16,2	17	14,5	14,6	15,3	15,8	-

3.4 Anexos da Dinâmica do N e respiração do solo

Anexo 3.4.1 Valores médios e desvio padrão ($n=5$) da concentração de N [NH_4^+] + N [NO_3^-] (mg kg^{-1}) às profundidades de 0-10, 10-20, entre Novembro de 2000 e Novembro de 2002.

	0-10 cm		10-20 cm	
	FC	SC	FC	SC
16-11-2000	3,93 [*] ±1,14	5,28 [*] ±0,85	2,48 [*] ±0,26	3,57 [*] ±1,30
19-12-2000	4,17 ±2,18	5,45 ±0,93	2,64 ±1,34	3,61 ±0,83
22-01-2001	4,01 [*] ±1,85	7,64 [*] ±1,78	3,38 ±1,98	4,19 ±1,21
15-02-2001	5,12 [*] ±1,16	8,14 [*] ±2,74	4,79 [*] ±0,65	3,13 [*] ±0,36
22-03-2001	2,87 ±0,43	7,70 [*] ±1,30	2,16 [*] ±0,37	4,69 [*] ±1,24
23-04-2001	2,40 ±0,19	5,49 [*] ±0,70	2,24 [*] ±0,13	3,97 [*] ±0,86
25-05-2001	2,47 ±0,97	7,89 [*] ±0,88	2,44 [*] ±0,92	4,10 [*] ±1,06
28-09-2001	4,16 ±0,61	7,07 [*] ±1,03	3,19 ±0,81	3,43 ±0,67
15-10-2001	2,96 [*] ±0,31	5,57 [*] ±0,76	3,21 ±2,21	2,99 ±0,48
01-11-2001	5,61 ±1,46	7,50 [*] ±1,60	4,23 ±0,42	4,52 ±0,57
29-11-2001	2,98 ±0,78	4,82 [*] ±2,40	2,40 ±0,78	2,53 ±0,42
03-01-2002	2,87 [*] ±0,57	4,12 [*] ±0,74	1,91 [*] ±0,05	2,67 [*] ±0,61
06-02-2002	4,64 ±2,79	5,04 ±0,43	2,83 ±0,74	3,35 ±0,43
08-03-2002	2,93 [*] ±0,48	4,18 [*] ±0,48	1,98 [*] ±0,38	2,56 [*] ±0,34
22-03-2002	5,52 ±0,78	5,85 ±0,37	4,99 ±0,83	4,34 ±0,31
29-04-2002	2,97 [*] ±0,45	6,45 [*] ±0,70	2,61 [*] ±0,27	4,02 [*] ±0,41
31-05-2002	2,76 ±1,19	4,21 ±1,18	2,12 ±1,15	2,19 ±0,37
11-09-2002	7,33 ±1,33	8,61 ±2,42	4,88 ±0,30	4,24 ±0,97
24-09-2002	6,26 ±0,63	7,71 ±1,36	4,93 ±0,55	4,95 ±0,67
31-10-2002	4,23 ±0,67	4,96 ±0,54	3,61 ±0,42	4,07 ±0,37
21-11-2003	3,72 [*] ±0,61	5,15 [*] ±1,23	2,80 ±0,47	3,62 ±0,78

Anexo 3.4.2 Valores médios e desvio padrão ($n=5$) da concentração de N [NH_4^+] (mg kg^{-1}) às profundidades de 0-10, 10-20, entre Novembro de 2000 e Novembro de 2002.

	0-10 cm		10-20 cm	
	FC	SC	FC	SC
16-11-2000	3,69 * ±1,12	4,12 * ±0,38	2,18 ±0,25	2,82 ±1,08
19-12-2000	3,92 ±2,25	3,09 ±0,76	2,48 ±1,29	2,38 ±0,67
22-01-2001	3,85 * ±1,81	6,77 * ±1,77	3,29 ±2,01	4,02 ±1,17
15-02-2001	5,04 ±1,13	7,15 ±2,32	4,54 * ±0,78	2,89 * ±0,30
22-03-2001	2,80 * ±0,42	6,31 * ±0,88	2,13 * ±0,38	4,41 * ±1,30
23-04-2001	2,27 * ±0,10	4,70 * ±0,66	2,12 * ±0,04	3,88 * ±0,81
25-05-2001	2,41 * ±1,03	6,83 * ±0,72	2,41 * ±0,92	3,80 * ±1,11
28-09-2001	2,84 * ±0,78	4,01 * ±0,68	2,17 ±0,80	2,11 ±0,48
15-10-2001	2,27 * ±0,20	3,95 * ±0,51	2,65 ±2,31	2,32 ±0,42
01-11-2001	5,03 ±1,25	5,89 ±1,68	3,91 ±0,44	3,80 ±0,51
29-11-2001	2,69 ±0,69	3,64 ±1,05	1,97 ±0,82	2,04 ±0,18
03-01-2002	2,56 * ±0,43	3,65 * ±0,67	1,67 * ±0,08	2,31 * ±0,46
06-02-2002	4,01 ±2,86	4,14 ±0,56	2,18 ±0,48	2,75 ±0,34
08-03-2002	2,57 ±0,49	3,17 ±0,40	1,60 ±0,41	2,02 ±0,22
22-03-2002	5,44 ±0,77	5,36 ±0,17	4,84 ±0,80	4,28 ±0,28
29-04-2002	2,92 * ±0,38	4,67 * ±0,52	2,60 * ±0,27	3,57 * ±0,52
31-05-2002	2,49 ±1,03	3,83 ±1,23	1,91 ±0,93	2,15 ±0,35
11-09-2002	3,81 ±1,09	4,97 ±1,82	2,43 ±0,17	2,33 ±0,45
24-09-2002	3,95 ±0,53	4,70 ±1,03	2,60 ±0,33	2,80 ±0,32
31-10-2002	2,46 ±0,30	2,82 0,24	1,50 * ±0,26	2,08 * ±0,23
21-11-2003	2,25 * ±0,41	3,37 * ±0,95	1,52 ±0,22	2,37 ±0,68

Anexo 3.4.3 Valores médios e desvio padrão ($n=5$) da concentração de N [NO₃] (mg kg⁻¹) às profundidades de 0-10, 10-20, entre Novembro de 2000 e Novembro de 2002.

	0-10 cm		10-20 cm	
	FC	SC	FC	SC
16-11-2000	0,25 [*] ±0,11	1,16 [*] ±0,60	0,30 ±0,11	0,76 ±0,44
19-12-2000	0,25 [*] ±0,17	2,37 [*] ±0,52	0,16 ±0,08	1,23 ±0,42
22-01-2001	0,16 [*] ±0,13	0,87 [*] ±0,18	0,09 ±0,09	0,17 ±0,15
15-02-2001	0,08 [*] ±0,08	0,99 [*] ±0,51	0,25 ±0,20	0,24 ±0,21
22-03-2001	0,07 [*] ±0,09	1,39 [*] ±1,08	0,03 ±0,07	0,29 ±0,21
23-04-2001	0,14 [*] ±0,15	0,79 [*] ±0,26	0,12 ±0,11	0,09 ±0,07
25-05-2001	0,07 [*] ±0,10	1,07 [*] ±0,30	0,03 ±0,05	0,31 ±0,08
28-09-2001	1,32 [*] ±0,32	3,07 [*] ±0,71	1,01 ±0,19	1,32 ±0,30
15-10-2001	0,69 [*] ±0,17	1,62 [*] ±0,38	0,55 ±0,31	0,67 ±0,30
01-11-2001	0,58 [*] ±0,32	1,61 [*] ±0,58	0,32 ±0,02	0,71 ±0,37
29-11-2001	0,29 [*] ±0,17	1,18 [*] ±1,37	0,43 ±0,12	0,48 ±0,25
03-01-2002	0,31 ±0,18	0,47 ±0,15	0,24 ±0,06	0,36 ±0,22
06-02-2002	0,64 ±0,28	0,91 ±0,40	0,65 ±0,33	0,59 ±0,35
08-03-2002	0,36 [*] ±0,16	1,00 [*] ±0,43	0,38 ±0,09	0,54 ±0,28
22-03-2002	0,07 [*] ±0,07	0,49 [*] ±0,29	0,15 ±0,22	0,06 ±0,09
29-04-2002	0,05 [*] ±0,11	1,79 [*] ±1,04	0,01 ±0,02	0,44 ±0,13
31-05-2002	0,26 ±0,21	0,38 ±0,21	0,21 ±0,24	0,04 ±0,07
11-09-2002	3,52 ±0,34	3,64 ±0,62	2,45 ±0,31	1,90 ±0,53
24-09-2002	2,31 [*] ±0,38	3,01 [*] ±0,50	2,33 ±0,24	2,15 ±0,39
31-10-2002	1,77 ±0,53	2,15 ±0,36	2,11 ±0,42	1,99 ±0,43
21-11-2003	1,47 ±0,27	1,78 ±0,49	1,28 ±0,31	1,25 ±0,23

Anexo 3.4.4 Valores médios e desvio padrão (n=5) da mineralização líquida (kg N [NH₄⁺] + N [NO₃⁻] ha⁻¹) às profundidades de 0-10, 10-20 e 0-20 cm. Os resultados foram obtidos pela incubação sequencial de amostras *in situ*, entre Abril de 2001 e Julho de 2002.

	0-10 cm		10-20 cm		0-20 cm	
	FC	SC	FC	SC	FC	SC
23-04 a 25-05-01	3,07 [*] ±1,97	11,27 [*] ±3,69	0,17 ±1,37	1,32 ±2,16	3,24 [*] ±3,09	12,59 [*] ±4,76
25-05 a 28-09-01	21,79 ±7,69	17,58 ±13,19	1,32 ±2,54	4,96 ±11,34	23,12 ±9,19	22,54 ±24,51
28-09 a 15-10-01	1,99 ±2,29	6,82 ±4,50	0,75 [*] ±1,48	4,82 [*] ±2,40	2,74 [*] ±3,59	11,64 [*] 6,81
15-10 a 01-11-01	11,30 ±5,70	13,35 ±8,87	2,77 ±5,35	4,15 ±2,25	14,07 ±10,40	17,50 ±8,80
01-11 a 29-11-01	4,95 ±6,67	9,52 ±2,09	-2,40 [*] ±0,76	0,82 [*] ±1,58	2,55 ±6,82	10,34 ±3,52
29-11-01 a 03-01-02	9,19 ±7,76	12,24 ±2,11	1,60 ±2,59	2,59 ±0,56	10,79 ±9,97	14,84 ±2,01
03-01 a 06-02-02	4,75 [*] ±5,01	15,47 [*] ±4,13	1,65 [*] ±1,78	5,81 [*] ±3,00	6,39 [*] ±6,74	21,28 [*] ±6,45
06-02 a 08-03-02	16,24 ±22,52	16,09 ±6,56	1,60 ±4,40	0,67 ±1,81	17,84 ±26,89	16,76 ±8,02
08-03 a 22-03-02	22,75 [*] ±11,40	8,53 [*] ±4,47	3,09 ±3,26	1,78 ±3,09	25,83 ±14,43	10,31 ±7,14
22-03 a 29-04-02	9,00 ±5,89	12,96 ±2,38	-3,54 [*] ±1,13	0,79 [*] ±1,93	5,46 ±6,80	13,75 ±4,13
29-04 a 31-05-02	12,74 ±10,82	10,13 ±10,66	-1,46 ±1,03	-0,17 ±2,09	11,28 ±11,72	9,96 ±12,16
31-05 a 01-07-02	4,65 ±4,82	3,62 ±2,31	0,65 ±2,27	1,56 ±0,81	5,30 ±6,57	5,18 ±2,45

Anexo 3.4.5 Valores médios e desvio padrão (n=5) da amonificação líquida (kg N [NH₄⁺] ha⁻¹) às profundidades de 0-10, 10-20 e 0-20 cm. Os resultados foram obtidos pela incubação sequencial de amostras *in situ*, entre Abril de 2001 e Julho de 2002.

	0-10 cm		10-20 cm		0-20 cm	
	FC	SC	FC	SC	FC	SC
23-04 a 25-05-01	1,29 ±1,41	3,67 ±2,69	-0,05 ±1,18	-0,33 ±1,97	1,24 ±2,46	3,34 ±4,03
25-05 a 28-09-01	11,06 ±8,33	2,64 ±7,74	-0,23 ±2,99	1,90 ±9,54	10,83 ±9,86	4,54 ±17,27
28-09 a 15-10-01	2,45 ±2,24	2,87 ±3,70	1,37 ±1,16	2,34 ±2,17	3,82 ±3,10	5,21 ±5,81
15-10 a 01-11-01	7,42 ±4,10	5,53 ±7,69	2,14 ±5,64	1,87 ±1,25	9,56 ±9,43	7,40 ±7,24
01-11 a 29-11-01	2,93 ±6,24	3,77 ±1,96	-3,31 ±0,50	-1,79 ±1,32	-0,38 ±6,22	1,97 ±3,00
29-11-01 a 03-01-02	8,39 ±7,37	7,78 ±2,27	0,81 ±2,01	0,25 ±0,24	9,20 ±9,11	8,03 ±2,22
03-01 a 06-02-02	4,28 [*] ±4,74	11,18 [*] ±3,17	0,96 [*] ±1,60	4,25 [*] ±2,61	5,24 [*] ±6,32	15,42 [*] ±4,97
06-02 a 08-03-02	15,60 ±22,67	11,24 ±6,10	2,11 [*] ±4,20	-0,98 [*] ±1,04	17,70 ±26,76	10,26 ±7,06
08-03 a 22-03-02	18,80 [*] ±11,21	7,20 [*] ±3,81	2,21 ±2,52	2,19 ±2,51	21,01 ±13,57	9,39 ±6,10
22-03 a 29-04-02	3,46 ±4,96	4,57 ±1,48	-3,98 [*] ±1,02	-0,64 [*] ±1,22	-0,52 ±5,48	3,93 ±2,68
29-04 a 31-05-02	6,19 ±7,63	5,01 ±8,39	-1,76 ±0,81	-1,35 ±1,26	4,44 ±8,25	3,66 ±9,57
31-05 a 01-07-02	1,96 ±3,67	0,91 ±2,28	0,19 ±2,29	0,14 ±0,73	2,15 ±5,36	1,04 ±2,50

Anexo 3.4.6 Valores médios e desvio padrão (n=5) da nitrificação líquida ($\text{kg N } [\text{NO}_3^-] \text{ ha}^{-1}$) às profundidades de 0-10, 10-20 e 0-20 cm. Os resultados foram obtidos pela incubação sequencial de amostras *in situ*, entre Abril de 2001 e Julho de 2002.

	0-10 cm		10-20 cm		0-20 cm	
	FC	SC	FC	SC	FC	SC
23-04 a 25-05-01	1,78 * ±0,88	7,60 * ±1,60	0,22 * ±0,36	1,65 * ±1,05	2,00 * ±1,18	9,25 * ±1,46
25-05 a 28-09-01	10,74 * ±1,42	14,94 * ±5,49	1,55 * ±0,60	3,06 * ±1,80	12,29 * ±1,56	18,00 * ±7,28
28-09 a 15-10-01	-0,46 * ±0,58	3,94 * ±2,00	-0,62 * ±0,46	2,49 * ±0,63	-1,08 * ±0,88	6,43 * ±2,49
15-10 a 01-11-01	3,88 * ±1,96	7,81 * ±1,66	0,63 ±0,98	2,28 ±1,07	4,51 * ±1,85	10,10 * ±2,48
01-11 a 29-11-01	2,02 * ±0,97	5,75 * ±1,16	0,91 * ±0,30	2,61 * ±1,38	2,93 * ±1,08	8,36 * ±2,08
29-11-01 a 03-01-02	0,80 * ±0,58	4,47 * ±0,68	0,79 * ±0,63	2,34 * ±0,41	1,59 * ±1,20	6,81 * ±0,65
03-01 a 06-02-02	0,46 * ±0,49	4,29 * ±1,03	0,69 ±0,37	1,56 ±1,15	1,16 * ±0,83	5,85 * ±2,09
06-02 a 08-03-02	0,64 * ±0,47	4,85 * ±0,95	-0,51 * ±0,62	1,65 * ±1,04	0,14 * ±0,87	6,50 * ±1,96
08-03 a 22-03-02	3,95 ±5,27	1,33 ±0,76	0,87 ±1,51	-0,41 ±0,70	4,82 ±6,67	0,93 ±1,21
22-03 a 29-04-02	5,54 * ±1,59	8,39 * ±1,56	0,44 * ±0,37	1,43 * ±1,07	5,98 * ±1,71	9,82 * ±2,40
29-04 a 31-05-02	6,54 ±3,58	5,12 ±3,77	0,30 ±0,25	1,18 ±1,37	6,84 ±3,80	6,30 ±4,59
31-05 a 01-07-02	2,68 ±1,19	2,71 ±0,33	0,46 * ±0,50	1,43 * ±0,42	3,15 ±1,52	4,14 ±0,72

Anexo 3.4.7 Valores médios e desvio padrão (n=5) do N ($\text{N } [\text{NH}_4^+] + \text{N } [\text{NO}_3^-] \text{ kg ha}^{-1}$) lixiviado às profundidades de 0-10, 10-20 e 0-20 cm. Os resultados foram obtidos pela incubação sequencial de amostras *in situ*, entre Abril de 2001 e Julho de 2002.

	0-10 cm		10-20 cm		0-20 cm	
	FC	SC	FC	SC	FC	SC
23-04 a 25-05-01	-1,06 ±2,24	-2,76 ±4,49	0,12 ±1,91	-1,39 ±3,62	-0,94 ±3,61	-4,14 ±6,46
25-05 a 28-09-01	-0,30 ±20,41	-9,46 ±16,77	-10,04 ±14,19	-2,69 ±9,85	-10,34 ±32,52	-12,15 ±24,63
28-09 a 15-10-01	-2,94 * ±6,80	2,93 * ±1,03	0,61 ±0,61	2,29 ±1,90	-2,33 * ±6,87	5,22 * ±2,89
15-10 a 01-11-01	4,97 ±4,97	1,42 ±10,48	2,65 ±3,12	1,00 ±2,93	7,62 ±7,79	2,42 ±10,42
01-11 a 29-11-01	-12,97 ±32,00	3,80 ±3,74	-0,33 ±1,59	0,22 ±2,17	-13,30 ±32,66	4,02 ±3,69
29-11-01 a 03-01-02	-7,40 ±25,80	-6,39 ±18,29	-0,07 ±2,77	-2,58 ±2,34	-7,47 ±27,51	-8,97 ±18,47
03-01 a 06-02-02	-10,87 ±18,57	-7,07 ±27,81	1,79 ±1,68	3,71 ±1,32	-9,08 ±19,85	-3,36 ±27,01
06-02 a 08-03-02	-39,06 ±55,07	3,38 ±7,10	-11,71 ±20,34	-1,32 ±2,11	-50,77 ±73,38	2,05 ±8,52
08-03 a 22-03-02	-13,21 ±33,58	-13,33 ±21,10	-2,03 ±6,71	1,10 ±1,65	-15,24 ±40,15	-12,23 ±21,01
22-03 a 29-04-02	-3,29 ±5,12	2,15 ±4,98	0,11 ±1,00	0,95 ±2,11	-3,18 ±5,98	3,11 ±6,70
29-04 a 31-05-02	2,58 ±12,98	-0,89 ±11,16	-0,10 ±2,08	-1,33 ±2,60	2,48 ±14,90	-2,22 ±12,62
31-05 a 01-07-02	-0,99 ±7,27	-2,14 ±3,46	-0,05 ±1,73	-2,22 ±2,07	-1,04 ±8,03	-4,37 ±5,10

Anexo 3.4.8 Valores médios e desvio padrão (n=5) do N [NH₄⁺] (kg ha⁻¹) lixiviado às profundidades de 0-10, 10-20 e 0-20 cm. Os resultados foram obtidos pela incubação sequencial de amostras *in situ*, entre Abril de 2001 e Julho de 2002.

	0-10 cm		10-20 cm		0-20 cm	
	FC	SC	FC	SC	FC	SC
23-04 a 25-05-01	-1,10 ±1,25	-2,35 ±4,09	0,06 ±1,40	0,34 ±1,86	-1,03 ±1,80	-2,01 ±4,95
25-05 a 28-09-01	-6,15 ±21,19	-4,60 ±9,55	-7,36 ±14,79	1,39 ±7,68	-13,51 ±33,48	-3,20 ±14,05
28-09 a 15-10-01	-2,77 ±6,40	-0,06 ±1,52	1,00 ±0,83	1,15 ±1,69	-1,77 ±6,56	1,09 ±2,94
15-10 a 01-11-01	2,84 ±3,35	-0,01 ±8,56	2,22 ±3,16	0,60 ±1,83	5,05 ±5,75	0,59 ±8,26
01-11 a 29-11-01	-14,47 ±31,65	3,26 ±3,44	-0,43 ±1,36	-0,04 ±0,61	-14,90 ±32,12	3,22 ±3,28
29-11-01 a 03-01-02	-8,03 ±25,61	-8,16 ±17,57	-0,48 ±2,33	-1,49 ±2,25	-8,51 ±26,95	-9,65 ±17,82
03-01 a 06-02-02	-11,07 ±18,25	-9,38 ±27,95	1,24 * ±1,31	3,73 * ±1,33	-9,84 ±19,20	-5,65 ±26,86
06-02 a 08-03-02	-39,42 ±55,10	4,91 ±5,48	-11,04 ±20,35	0,08 ±0,89	-50,46 ±73,38	4,99 ±5,86
08-03 a 22-03-02	-16,15 ±33,79	-14,33 ±21,16	-2,83 ±6,32	0,69 ±1,24	-18,99 ±40,07	-13,63 ±21,25
22-03 a 29-04-02	-3,30 ±4,50	1,33 ±2,38	-0,28 ±0,71	0,51 ±1,53	-3,59 ±5,10	1,84 ±3,82
29-04 a 31-05-02	1,18 ±8,70	1,97 ±7,01	-0,17 ±1,84	-1,02 ±2,58	1,01 ±10,24	0,95 ±8,48
31-05 a 01-07-02	-1,47 ±7,07	-1,61 ±3,16	0,14 * ±1,61	-2,50 * ±1,92	-1,33 ±7,57	-4,11 ±4,84

Anexo 3.4.9 Valores médios e desvio padrão (n=5) do N [NO₃] (kg ha⁻¹) lixiviado às profundidades de 0-10, 10-20 e 0-20 cm. Os resultados foram obtidos pela incubação sequencial de amostras *in situ*, entre Abril de 2001 e Julho de 2002.

	0-10 cm		10-20 cm		0-20 cm	
	FC	SC	FC	SC	FC	SC
23-04 a 25-05-01	0,04 ±1,25	-0,41 ±2,06	0,06 ±0,87	-1,72 ±2,06	0,10 ±2,03	-2,13 ±3,37
25-05 a 28-09-01	5,86 * ±1,13	-4,87 * ±9,67	-2,68 ±1,75	-4,08 ±2,92	3,18 * ±2,31	-8,95 * ±12,49
28-09 a 15-10-01	-0,17 * ±0,54	2,99 * ±1,44	-0,39 * ±0,29	1,13 * ±0,44	-0,55 * ±0,72	4,13 * ±1,71
15-10 a 01-11-01	2,13 ±2,20	1,43 ±2,11	0,44 ±0,66	0,40 ±1,13	2,57 ±2,41	1,82 ±2,61
01-11 a 29-11-01	1,51 ±0,73	0,53 ±1,55	0,10 ±0,32	0,27 ±1,91	1,61 ±0,89	0,80 ±3,02
29-11-01 a 03-01-02	0,63 ±0,59	1,77 ±1,62	0,42 ±0,51	-1,09 ±1,41	1,04 ±1,06	0,68 ±2,71
03-01 a 06-02-02	0,20 * ±0,45	2,31 * ±1,14	0,56 ±0,51	-0,02 ±0,63	0,76 ±0,96	2,29 ±1,54
06-02 a 08-03-02	0,37 ±0,77	-1,54 ±3,17	-0,67 ±0,37	-1,40 ±1,39	-0,30 ±1,06	-2,93 ±4,48
08-03 a 22-03-02	2,95 ±5,50	1,00 ±0,38	0,80 ±1,87	0,40 ±0,55	3,75 ±7,28	1,40 ±0,53
22-03 a 29-04-02	0,01 ±1,76	0,82 ±2,97	0,39 ±0,42	0,44 ±1,13	0,41 ±2,11	1,26 ±3,64
29-04 a 31-05-02	1,40 ±4,61	-2,86 ±5,28	0,07 ±0,27	-0,31 ±1,25	1,47 ±4,87	-3,17 ±5,65
31-05 a 01-07-02	0,48 ±1,24	-0,54 ±0,34	-0,20 ±0,35	0,28 ±0,72	0,29 ±1,28	-0,26 ±0,70

Anexo 3.4.10 Valores médios e desvio padrão (n=5) do N ($N [NH_4^+] + N [NO_3^-]$ kg ha⁻¹) absorvido às profundidades de 0-10, 10-20 e 0-20 cm. Os resultados foram obtidos pela incubação sequencial de amostras *in situ*, entre Abril de 2001 e Julho de 2002.

	0-10 cm		10-20 cm		0-20 cm	
	FC	SC	FC	SC	FC	SC
25-05 a 28-09-01	3,19 [*] ±2,35	11,07 [*] ±3,44	-0,30 ±2,13	2,43 ±2,37	2,89 [*] ±4,48	13,50 [*] ±5,36
28-09 a 15-10-01	19,53 ±14,22	24,82 ±10,30	4,64 ±1,91	8,72 ±4,80	24,17 ±15,57	33,54 ±14,03
15-10 a 01-11-01	4,63 ±2,07	5,63 ±2,80	0,05 ±2,84	3,13 ±1,53	4,68 ±2,92	8,76 ±3,94
01-11 a 29-11-01	2,23 ±3,66	9,67 [*] ±5,26	-1,47 [*] ±0,99	0,99 [*] ±1,29	0,76 [*] ±3,33	10,66 [*] ±4,68
29-11-01 a 03-01-02	9,50 ±8,65	8,89 ±1,96	0,74 [*] ±1,46	3,62 [*] ±1,64	10,24 ±9,29	12,51 ±1,15
03-01 a 06-02-02	8,20 ±6,20	13,00 ±5,14	2,41 [*] ±1,00	4,79 [*] ±2,08	10,61 ±7,12	17,80 ±6,90
06-02 a 08-03-02	12,96 ±12,89	9,02 ±11,70	-1,50 [*] ±0,93	1,09 [*] ±1,32	11,46 ±12,83	10,11 ±12,58
08-03 a 22-03-02	43,82 [*] ±32,52	9,45 [*] ±2,15	7,29 ±9,31	3,11 ±1,56	51,11 [*] ±36,23	12,56 [*] ±3,16
22-03 a 29-04-02	17,46 ±13,39	12,06 ±8,66	0,54 ±7,28	-1,97 ±1,52	18,00 ±17,06	10,11 ±12,58
29-04 a 31-05-02	12,99 ±3,67	10,11 ±2,63	0,02 ±1,17	0,45 ±1,09	13,02 ±4,21	10,57 ±3,40
31-05 a 01-07-02	10,43 ±10,13	13,68 ±2,94	-0,62 [*] ±1,81	3,78 [*] ±3,32	9,81 ±11,34	17,46 ±2,49
01-07 a 11-09-02	-1,15 ±5,64	0,70 ±4,88	-2,57 [*] ±2,11	0,79 [*] ±1,49	-3,72 ±5,76	1,49 ±6,09

Anexo 3.4.11 Valores médios e desvio padrão (n=5) do N [NH_4^+] (kg ha⁻¹) absorvido às profundidades de 0-10, 10-20 e 0-20 cm. Os resultados foram obtidos pela incubação sequencial de amostras *in situ*, entre Abril de 2001 e Julho de 2002.

	0-10 cm		10-20 cm		0-20 cm	
	FC	SC	FC	SC	FC	SC
25-05 a 28-09-01	1,34 ±1,67	3,40 ±2,18	-0,61 ±1,68	-0,62 ±2,31	0,74 ±3,29	2,78 ±4,19
28-09 a 15-10-01	16,54 ±14,16	10,63 ±9,04	1,88 ±1,37	3,06 ±3,45	18,42 ±15,17	13,69 ±10,06
15-10 a 01-11-01	3,97 ±1,86	2,98 ±2,08	-0,40 ±2,81	0,86 ±0,95	3,57 ±2,92	3,83 ±2,56
01-11 a 29-11-01	0,33 ±3,53	3,26 ±5,08	-2,02 ±0,91	-0,86 ±1,08	-1,68 ±3,14	2,40 ±4,64
29-11-01 a 03-01-02	8,54 ±8,61	3,14 ±1,74	0,10 ±1,23	0,93 ±0,84	8,64 ±9,05	4,07 ±1,07
03-01 a 06-02-02	8,06 ±6,16	9,46 ±5,37	1,74 ±1,03	1,20 ±2,53	9,80 ±7,09	10,66 ±7,74
06-02 a 08-03-02	13,19 ±12,75	7,55 ±10,58	-1,03 ±0,45	-0,14 ±0,71	12,16 ±12,90	7,41 ±10,86
08-03 a 22-03-02	43,13 [*] ±32,38	4,27 [*] ±0,94	6,74 [*] ±9,09	0,01 [*] ±0,63	49,87 [*] ±35,91	4,28 [*] ±1,47
22-03 a 29-04-02	16,02 ±12,93	11,10 ±8,44	0,11 ±6,78	-1,88 ±1,57	16,13 ±16,27	9,22 ±8,38
29-04 a 31-05-02	7,43 [*] ±2,19	4,08 [*] ±1,84	-0,23 ±0,74	0,01 ±0,82	7,20 [*] ±2,27	4,09 [*] ±2,18
31-05 a 01-07-02	5,61 ±7,18	4,03 ±2,43	-0,56 ±1,39	1,71 ±2,78	5,05 ±8,20	5,73 ±1,43
01-07 a 11-09-02	1,49 ±5,55	1,27 ±4,27	-0,24 [*] ±0,90	2,38 [*] ±1,62	1,25 ±5,10	3,65 ±5,79

Anexo 3.4.12 Valores médios e desvio padrão (n=5) do N [NO₃⁻] (kg ha⁻¹) absorvido às profundidades de 0-10, 10-20 e 0-20 cm. Os resultados foram obtidos pela incubação sequencial de amostras *in situ*, entre Abril de 2001 e Julho de 2002.

	0-10 cm		10-20 cm		0-20 cm	
	FC	SC	FC	SC	FC	SC
25-05 a 28-09-01	1,85 [*] ±0,89	7,67 [*] ±2,33	0,31 [*] ±0,60	3,05 [*] ±1,15	2,16 [*] ±1,41	10,72 [*] ±3,26
28-09 a 15-10-01	2,99 [*] ±1,76	14,19 [*] ±4,73	2,76 [*] ±1,46	5,66 [*] ±2,23	5,75 [*] ±3,09	19,85 [*] ±6,42
15-10 a 01-11-01	0,66 [*] ±0,51	2,65 [*] ±0,82	0,45 [*] ±0,83	2,28 [*] ±0,65	1,12 [*] ±1,28	4,93 [*] ±1,41
01-11 a 29-11-01	1,90 [*] ±0,80	6,40 [*] ±0,83	0,54 [*] ±0,16	1,85 [*] ±0,28	2,44 [*] ±0,81	8,25 [*] ±0,81
29-11-01 a 03-01-02	0,96 [*] ±0,33	5,74 [*] ±1,05	0,64 [*] ±0,27	2,69 [*] ±0,93	1,60 [*] ±0,54	8,44 [*] ±1,66
03-01 a 06-02-02	0,14 [*] ±0,09	3,54 [*] ±0,87	0,68 [*] ±0,22	3,59 [*] ±0,73	0,82 [*] ±0,17	7,13 [*] ±1,43
06-02 a 08-03-02	-0,23 [*] ±0,53	1,47 [*] ±1,13	-0,48 [*] ±0,56	1,23 [*] ±0,81	-0,70 [*] ±0,69	2,70 [*] ±1,78
08-03 a 22-03-02	0,68 [*] ±0,44	5,18 [*] ±1,42	0,56 [*] ±0,37	3,10 [*] ±1,17	1,24 [*] ±0,79	8,28 [*] ±1,74
22-03 a 29-04-02	1,44 ±0,94	0,96 ±0,82	0,43 ±0,90	-0,09 ±0,12	1,87 ±1,70	0,87 ±0,73
29-04 a 31-05-02	5,57 ±2,34	6,03 ±2,15	0,25 ±0,50	0,44 ±0,54	5,82 ±2,76	6,47 ±2,66
31-05 a 01-07-02	4,83 [*] ±3,18	9,65 [*] ±1,95	-0,07 [*] ±0,48	2,08 [*] ±0,74	4,76 [*] ±3,36	11,73 [*] ±2,09
01-07 a 11-09-02	-2,64 [*] ±0,49	-0,56 [*] ±0,93	-2,33 ±1,32	-1,60 ±0,58	-4,97 [*] ±1,76	-2,16 [*] ±0,95

3.5 Anexos do efeito da copa de *Quercus rotundifolia* na produtividade e composição química da vegetação herbácea do sob coberto, em resultado das alterações da radiação e da disponibilidade em água e nutrientes

Anexo 3.4.1 Valores médios e respectivo desvio padrão (\pm) da produção de fitomassa, biomassa e necromassa totais (g m^{-2}) nas parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG) das áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e com radiação reduzida (RR), em Abril de 2001 e 2002.

	RT		AZ		RR	
	2001	2002	2001	2002	2001	2002
	g m^{-2}					
Fitomassa						
REF	302,40 ^a	$\pm 21,36$	383,79	$\pm 161,26$	126,88	$\pm 7,93$
FRT	514,24 ^b	$\pm 93,07$	520,53	$\pm 149,18$	190,08	$\pm 43,51$
REG	363,47 ^a	$\pm 21,00$	386,83	$\pm 139,04$	224,59 ^b	$\pm 33,35$
FRG	700,11 ^b	$\pm 98,25$	606,74 ^a	$\pm 92,03$	290,51	$\pm 113,28$
Biomassa						
REF	189,97 ^a	$\pm 35,44$	320,43 ^a	$\pm 134,16$	100,53	$\pm 8,87$
FRT	314,88 ^b	$\pm 40,67$	353,39	$\pm 106,06$	162,61	$\pm 38,76$
REG	271,04 ^a _b	$\pm 25,29$	342,88	$\pm 113,74$	180,75 ^b	$\pm 24,96$
FRG	555,31 ^c	$\pm 98,58$	432,13 ^a	$\pm 119,45$	237,97	$\pm 78,72$
Necromassa						
REF	112,43	$\pm 56,19$	63,36 ^a	$\pm 28,48$	26,35	$\pm 4,07$
FRT	199,36	$\pm 57,69$	167,15 ^b	$\pm 43,69$	27,47	$\pm 5,44$
REG	92,43 ^a	$\pm 29,11$	43,95 ^a	$\pm 25,58$	43,84 ^b	$\pm 10,91$
FRG	144,80	$\pm 10,15$	174,60 ^b	$\pm 36,84$	52,53	$\pm 35,14$

Letras expoentes diferentes na mesma linha e em cada ano, correspondem a diferenças significativas entre as três áreas ($p<0,05$), pelo teste *H* de Kruskal-Wallis.

Letras índice diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos ($p<0,05$), pelo teste *H* de Kruskal-Wallis.

Anexo 3.4.2 Valores médios e respectivo desvio padrão (\pm) da produção de fitomassa, biomassa e necromassa do grupo das gramíneas (g m^{-2}) nas parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG) das áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e com radiação reduzida (RR), em Abril de 2001 e 2002.

	RT		AZ				RR						
	2001		2002		2001		2002		2001				
 g m^{-2}												
Fitomassa													
REF	193,33 ^a	$\pm 85,88$	96,11 _a	$\pm 43,85$	45,65 ^{ab}	$\pm 23,45$	56,84	$\pm 30,46$	16,48 ^b	$\pm 7,96$			
FRT	280,11	$\pm 14,70$	404,32 ^a _b	$\pm 155,03$	98,61	$\pm 63,95$	77,15 ^b	$\pm 22,44$	109,28	$\pm 162,54$			
REG	143,68	$\pm 22,60$	110,61 _a	$\pm 49,75$	139,09	$\pm 11,11$	131,15	$\pm 160,72$	29,49	$\pm 17,20$			
FRG	228,59	$\pm 119,71$	435,50 _b	$\pm 61,51$	219,36	$\pm 142,23$	137,17	$\pm 78,22$	100,21	$\pm 56,18$			
Biomassa													
REF	108,00 ^a	$\pm 41,55$	64,48 _a	$\pm 29,71$	35,79 ^{ab}	$\pm 21,13$	33,49	$\pm 28,35$	11,09 ^b	$\pm 4,88$			
FRT	122,03	$\pm 51,98$	264,69 ^a _b	$\pm 100,51$	81,17	$\pm 55,48$	45,21 ^b	$\pm 14,27$	91,15	$\pm 136,89$			
REG	86,35	$\pm 20,54$	90,83 _a	$\pm 39,26$	105,92	$\pm 7,64$	110,72	$\pm 143,75$	20,05	$\pm 12,61$			
FRG	156,53	$\pm 93,63$	288,39 _b	$\pm 38,66$	176,27	$\pm 105,25$	92,59	$\pm 78,75$	62,93	$\pm 45,02$			
Necromassa													
REF	85,33	$\pm 56,67$	31,63 _a	$\pm 21,06$	9,87	$\pm 5,73$	23,34	$\pm 2,12$	5,39	$\pm 5,53$			
FRT	158,08	$\pm 42,45$	139,63 ^a _b	$\pm 54,52$	17,44	$\pm 8,90$	31,94 ^b	$\pm 12,03$	18,13	$\pm 25,65$			
REG	57,33	$\pm 27,30$	19,79 _a	$\pm 10,68$	33,17	$\pm 11,43$	20,43	$\pm 17,42$	9,44	$\pm 4,75$			
FRG	72,05	$\pm 26,69$	147,11 _b	$\pm 47,37$	43,09	$\pm 37,56$	44,59	$\pm 2,16$	37,28	$\pm 12,10$			
									50,88	$\pm 21,36$			

Letras expoentes diferentes na mesma linha e em cada ano, correspondem a diferenças significativas entre as três áreas ($p<0,05$), pelo teste *H* de Kruskal-Wallis.

Letras índice diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos ($p<0,05$), pelo teste *H* de Kruskal-Wallis.

Anexo 3.4.3 Valores médios e respectivo desvio padrão (\pm) da produção de fitomassa, biomassa e necromassa do grupo das dicotiledóneas não leguminosas (g m^{-2}) nas parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG) das áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e com radiação reduzida (RR), em Abril de 2001 e 2002.

	RT		AZ		RR	
	2001	2002	2001	2002	2001	2002
	g m^{-2}					
Fitomassa						
REF	103,20	$\pm 71,22$	122,83 ^a	$\pm 37,55$	72,59	$\pm 18,45$
FRT	228,59	$\pm 105,99$	93,28	$\pm 88,11$	68,32	$\pm 83,83$
REG	176,27 ^a	$\pm 62,76$	69,39	$\pm 26,86$	65,17 ^b	$\pm 22,66$
FRG	386,77	$\pm 148,45$	33,54	$\pm 23,05$	67,25	$\pm 22,85$
Biomassa						
REF	79,09	$\pm 58,54$	99,36 ^a	$\pm 27,03$	56,59	$\pm 9,33$
FRT	189,33	$\pm 86,79$	67,36	$\pm 57,31$	58,99	$\pm 72,24$
REG	145,01	$\pm 52,63$	60,43	$\pm 25,92$	54,72	$\pm 20,16$
FRG	321,07	$\pm 124,57$	20,93	$\pm 15,17$	57,92	$\pm 20,44$
Necromassa						
REF	24,11	$\pm 17,95$	23,47	$\pm 11,69$	16,00	$\pm 9,44$
FRT	39,25	$\pm 21,17$	25,92	$\pm 30,83$	9,33	$\pm 11,62$
REG	31,25 ^a	$\pm 11,38$	8,96	$\pm 5,81$	10,45 ^b	$\pm 2,59$
FRG	65,71	$\pm 28,33$	12,61	$\pm 8,08$	9,33	$\pm 2,48$

Letras expoentes diferentes na mesma linha e em cada ano, correspondem a diferenças significativas entre as três áreas ($p<0,05$), pelo teste H de Kruskal-Wallis.

Letras índice diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos ($p<0,05$), pelo teste H de Kruskal-Wallis.

Anexo 3.4.4 Valores médios e respectivo desvio padrão (\pm) da produção de fitomassa, biomassa e necromassa do grupo das leguminosas (g m^{-2}) nas parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG) das áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e com radiação reduzida (RR), em Abril de 2001 e 2002.

	RT				AZ				RR										
	2001		2002		2001		2002		2001		2002								
	g m^{-2}																		
Fitomassa																			
REF	5,87 ^a	$\pm 4,32$	164,85	$\pm 134,17$	8,64	$\pm 6,11$	15,62 ^a	$\pm 15,55$	0,96	$\pm 1,15$	4,00	$\pm 6,38$							
FRT	5,55 ^a	$\pm 3,18$	22,93 ^a	$\pm 33,94$	23,15	$\pm 24,02$	236,67 ^b _b	$\pm 120,74$	0,00	$\pm 0,00$	0,00 ^a	$\pm 0,00$							
REG	43,52 ^b	$\pm 38,57$	206,83 ^a	$\pm 113,40$	20,32	$\pm 27,55$	20,32 ^b _a	$\pm 23,95$	11,41	$\pm 8,96$	1,17 ^b	$\pm 2,03$							
FRG	84,75 ^b	$\pm 42,88$	137,69	$\pm 131,31$	3,89	$\pm 6,74$	99,04 ^b	$\pm 62,80$	12,27	$\pm 20,28$	0,37	$\pm 0,65$							
Biomassa																			
REF	2,88 ^a	$\pm 1,73$	156,59	$\pm 130,78$	8,16	$\pm 6,04$	14,82 ^a	$\pm 15,23$	0,85	$\pm 1,21$	3,68	$\pm 5,83$							
FRT	3,52 ^a	$\pm 2,73$	21,33 ^a	$\pm 33,81$	22,45	$\pm 23,21$	231,97 ^b _b	$\pm 118,06$	0,00	$\pm 0,00$	0,00 ^a	$\pm 0,00$							
REG	39,68 ^b	$\pm 33,28$	191,63 ^a	$\pm 100,87$	20,11	$\pm 27,43$	20,00 ^b _a	$\pm 23,63$	10,03	$\pm 9,44$	1,17 ^b	$\pm 2,03$							
FRG	77,71 ^b	$\pm 36,50$	122,81	$\pm 114,82$	3,79	$\pm 6,56$	96,69 ^b	$\pm 61,68$	11,52	$\pm 19,13$	0,00	$\pm 0,00$							
Necromassa																			
REF	2,99 ^a	$\pm 2,89$	8,27	$\pm 3,40$	0,48 ^a	$\pm 0,28$	0,79 ^{ac}	$\pm 0,42$	0,11 ^b	$\pm 0,18$	0,32	$\pm 0,55$							
FRT	2,03	$\pm 2,22$	1,60	$\pm 1,60$	0,69	$\pm 0,82$	4,69 ^b	$\pm 2,68$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$							
REG	3,84	$\pm 5,29$	15,20 ^a	$\pm 12,58$	0,21	$\pm 0,18$	0,32 ^b _a	$\pm 0,32$	1,39	$\pm 1,60$	0,00 ^b	$\pm 0,00$							
FRG	7,04	$\pm 6,69$	14,88 ^a	$\pm 16,49$	0,11	$\pm 0,18$	2,35 ^{ab} _{bc}	$\pm 1,24$	0,75	$\pm 1,16$	0,37 ^b	$\pm 0,65$							

Letras expoentes diferentes na mesma linha e em cada ano, correspondem a diferenças significativas entre as três áreas ($p<0,05$), pelo teste H de Kruskal-Wallis.

Letras índice diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos ($p<0,05$), pelo teste H de Kruskal-Wallis.

Anexo 3.4.5 Valores médios, das razões entre a fitomassa das parcelas fertilizadas (FRT), regadas (REG), fertilizadas e regadas (FRG) e a fitomassa da vegetação herbácea total, do grupo das gramíneas, do grupo das dicotiledóneas não leguminosas e do grupo das leguminosas das parcelas de referência (REF); nas áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e nas áreas com radiação reduzida (RR), em Abril de 2001 e 2002.

	RT		AZ		RR	
	2001	2002	2001	2002	2001	2002
	g m ⁻²					
Total						
FRT/REF	1,70	1,36	1,50	4,58	1,98	1,60
REG/REF	1,20	1,01	1,77	1,95	1,43	0,95
FRG/REF	2,32	1,58	2,29	3,18	3,64	1,40
Gramíneas						
FRT/REF	1,45	4,21	2,16	1,36	6,63	1,91
REG/REF	0,74	1,15	3,05	2,31	1,79	0,82
FRG/REF	1,18	4,53	4,81	2,41	6,08	1,12
Dicotiledóneas não leguminosas						
FRT/REF	2,22	0,76	0,94	5,52	1,19	1,26
REG/REF	1,71	0,56	0,90	1,42	1,26	1,19
FRG/REF	3,75	0,27	0,93	2,88	3,13	1,90
Leguminosas						
FRT/REF	0,95	0,14	2,68	15,15	0,00	0,00
REG/REF	7,41	1,25	2,35	1,30	11,89	0,29
FRG/REF	14,44	0,84	0,45	6,34	12,78	0,09

Anexo 3.4.6 Valores médios e respectivo desvio padrão (\pm) do índice de área foliar (LAI) da globalidade das herbáceas, do grupo das gramíneas, do grupo das dicotiledóneas não leguminosas e do grupo das leguminosas ($m^2 m^{-2}$) nas parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG) das áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e com radiação reduzida (RR), em Abril de 2001 e 2002.

	RT				AZ				RR										
	2001		2002		2001		2002		2001		2002								
	$m^2 m^{-2}$																		
Total																			
REF	14,69	$\pm 8,58$	49,90	$\pm 38,03$	11,88	$\pm 1,37$	9,23 _a	$\pm 2,52$	15,45	$\pm 11,73$	12,39	$\pm 4,77$							
FRT	30,63	$\pm 13,86$	26,76 ^{ab}	$\pm 14,06$	22,88	$\pm 5,94$	88,33 _b	$\pm 25,53$	26,87	$\pm 24,21$	14,31 ^b	$\pm 6,01$							
REG	26,50	$\pm 4,28$	38,50	$\pm 8,86$	22,13	$\pm 2,87$	22,83 _c	$\pm 15,15$	26,07	$\pm 4,71$	12,39	$\pm 6,59$							
FRG	51,36	$\pm 23,09$	25,18	$\pm 11,57$	24,54	$\pm 2,61$	30,80 _c	$\pm 12,88$	50,00	$\pm 22,53$	15,56	$\pm 1,81$							
Gramíneas																			
REF	4,25	$\pm 0,68$	2,15	$\pm 1,36$	3,04	$\pm 1,68$	3,72	$\pm 2,88$	0,34	$\pm 0,20$	1,99	$\pm 1,89$							
FRT	3,11	$\pm 0,85$	11,01 ^a	$\pm 7,34$	10,53	$\pm 10,33$	6,00 ^b	$\pm 4,20$	8,12	$\pm 13,34$	8,23 ^{ab}	$\pm 4,51$							
REG	2,16	$\pm 1,59$	3,26	$\pm 2,41$	10,66	$\pm 0,43$	15,09	$\pm 19,39$	1,33	$\pm 1,54$	1,99	$\pm 1,27$							
FRG	3,15	$\pm 2,26$	7,93	$\pm 2,77$	13,95	$\pm 9,26$	6,58	$\pm 8,61$	7,23	$\pm 1,47$	1,78	$\pm 1,47$							
Dicotiledóneas não leguminosas																			
REF	10,26	$\pm 8,93$	17,19 _a	$\pm 3,06$	7,50	$\pm 1,36$	2,99 _a ^b	$\pm 1,22$	15,00	$\pm 11,58$	9,34 ^{ab}	$\pm 4,61$							
FRT	27,16	$\pm 14,82$	11,30 _b	$\pm 2,77$	8,96	$\pm 8,52$	17,29 _b	$\pm 18,11$	18,75	$\pm 26,31$	6,08	$\pm 1,55$							
REG	21,81	$\pm 5,75$	12,38 _{ab}	$\pm 4,12$	8,17	$\pm 2,82$	4,23 _{ac}	$\pm 1,69$	24,49	$\pm 3,33$	10,23	$\pm 5,09$							
FRG	42,47	$\pm 23,24$	2,36 _c	$\pm 2,23$	10,08	$\pm 8,53$	8,13 _{bc} ^b	$\pm 4,09$	40,63	$\pm 21,35$	13,77 ^c	$\pm 0,41$							
Leguminosas																			
REF	0,18	$\pm 0,22$	30,55 _a	$\pm 39,96$	1,33	$\pm 0,93$	2,52	$\pm 2,56$	0,11	$\pm 0,17$	1,06	$\pm 1,54$							
FRT	0,35 ^a	$\pm 0,30$	4,45 _b	$\pm 7,41$	3,39 ^a	$\pm 3,39$	65,03 ^b	$\pm 38,98$	0,00 ^b	$\pm 0,00$	0,00 ^a	$\pm 0,00$							
REG	2,54	$\pm 1,57$	22,86 _a	$\pm 10,86$	3,30	$\pm 4,89$	3,51 ^b	$\pm 4,84$	0,25	$\pm 0,32$	0,18 ^b	$\pm 0,31$							
FRG	5,74	$\pm 2,59$	14,89 _b	$\pm 10,21$	0,50	$\pm 0,87$	16,08	$\pm 12,80$	2,14	$\pm 3,55$	0,00	$\pm 0,00$							

Letras expoentes diferentes na mesma linha e em cada ano, correspondem a diferenças significativas entre as três áreas ($p<0,05$), pelo teste H de Kruskal-Wallis.

Letras índice diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos ($p<0,05$), pelo teste H de Kruskal-Wallis.

Anexo 3.4.7 Valores médios e respectivo desvio padrão (\pm) da razão do peso foliar (LWR) da globalidade das herbáceas, do grupo das gramíneas, do grupo das dicotiledóneas não leguminosas e do grupo das leguminosas (%) nas parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG) das áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e com radiação reduzida (RR), em Abril de 2001 e 2002.

	RT				AZ				RR								
	2001		2002		2001		2002		2001		2002						
				%.....											
Total																	
REF	0,32	$\pm 0,14$	0,43 _a	$\pm 0,09$	0,33	$\pm 0,01$	0,50	$\pm 0,18$	0,38	$\pm 0,11$	0,33	$\pm 0,03$					
FRT	0,31	$\pm 0,11$	0,27 _{bc}	$\pm 0,03$	0,36	$\pm 0,06$	0,44	$\pm 0,13$	0,46	$\pm 0,25$	0,31	$\pm 0,06$					
REG	0,37	$\pm 0,05$	0,36 _{ab}	$\pm 0,15$	0,35	$\pm 0,05$	0,39	$\pm 0,11$	0,39	$\pm 0,09$	0,30	$\pm 0,07$					
FRG	0,28	$\pm 0,05$	0,22 _c	$\pm 0,02$	0,34	$\pm 0,17$	0,35	$\pm 0,08$	0,34	$\pm 0,06$	0,28	$\pm 0,10$					
Gramíneas																	
REF	0,25	$\pm 0,10$	0,18	$\pm 0,07$	0,27	$\pm 0,08$	0,51	$\pm 0,19$	0,16	$\pm 0,04$	0,17	$\pm 0,05$					
FRT	0,16	$\pm 0,06$	0,20	$\pm 0,05$	0,29	$\pm 0,12$	0,37	$\pm 0,14$	0,31	$\pm 0,32$	0,33	$\pm 0,04$					
REG	0,14	$\pm 0,04$	0,24	$\pm 0,15$	0,27	$\pm 0,07$	0,34	$\pm 0,09$	0,21	$\pm 0,08$	0,21	$\pm 0,06$					
FRG	0,12	$\pm 0,01$	0,15	$\pm 0,02$	0,26	$\pm 0,09$	0,25	$\pm 0,12$	0,37	$\pm 0,12$	0,23	$\pm 0,14$					
Dicotiledóneas não leguminosas																	
REF	0,44	$\pm 0,10$	0,56	$\pm 0,10$	0,36	$\pm 0,08$	0,61	$\pm 0,18$	0,45	$\pm 0,12$	0,53	$\pm 0,10$					
FRT	0,40	$\pm 0,11$	0,53	$\pm 0,16$	0,43	$\pm 0,07$	0,40	$\pm 0,10$	0,59	$\pm 0,31$	0,38	$\pm 0,19$					
REG	0,45	$\pm 0,05$	0,53	$\pm 0,12$	0,47	$\pm 0,07$	0,49	$\pm 0,09$	0,42	$\pm 0,10$	0,37	$\pm 0,09$					
FRG	0,37	$\pm 0,03$	0,31	$\pm 0,16$	0,47	$\pm 0,24$	0,46	$\pm 0,11$	0,33	$\pm 0,04$	0,31	$\pm 0,08$					
Leguminosas																	
REF	0,26	$\pm 0,07$	0,42	$\pm 0,19$	0,49	$\pm 0,08$	0,50	$\pm 0,16$	0,45	$\pm 0,51$	0,41	$\pm 0,38$					
FRT	0,39 ^{ab}	$\pm 0,09$	0,28	$\pm 0,25$	0,50 ^a	$\pm 0,15$	0,48	$\pm 0,13$	0,00 ^b	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$					
REG	0,41	$\pm 0,23$	0,36	$\pm 0,12$	0,25	$\pm 0,23$	0,28	$\pm 0,26$	0,28	$\pm 0,09$	0,20	$\pm 0,34$					
FRG	0,25	$\pm 0,10$	0,42	$\pm 0,11$	0,12	$\pm 0,21$	0,39	$\pm 0,07$	0,29	$\pm 0,26$	0,00	$\pm 0,00$					

Letras expoentes diferentes na mesma linha e em cada ano, correspondem a diferenças significativas entre as três áreas ($p<0,05$), pelo teste *H* de Kruskal-Wallis.

Letras índice diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos ($p<0,05$), pelo teste *H* de Kruskal-Wallis.

Anexo 3.4.8 Valores médios e respectivo desvio padrão (\pm) da quantidade de N, P, K, Ca, Mg e Mn na biomassa total (g m^{-2}) nas parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG) das áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e com radiação reduzida (RR), em Abril de 2001 e 2002.

	RT				AZ				RR										
	2001		2002		2001		2002		2001		2002								
	g m^{-2}																		
N																			
REF	1,84 _a	$\pm 0,42$	5,11	$\pm 2,97$	1,30	$\pm 0,06$	0,86 _a	$\pm 0,18$	1,07	$\pm 0,72$	1,07	$\pm 0,49$							
FRT	2,98 _b	$\pm 0,53$	3,13 ^{ab}	$\pm 1,17$	2,43	$\pm 0,76$	7,09 _b ^a	$\pm 1,58$	2,37	$\pm 2,02$	1,78 ^b	$\pm 0,76$							
REG	3,36 _b	$\pm 0,24$	5,66	$\pm 2,12$	2,45	$\pm 0,69$	1,50 _a	$\pm 0,59$	2,00	$\pm 0,42$	1,19	$\pm 0,50$							
FRG	6,30 _c	$\pm 1,75$	5,86 ^a	$\pm 2,75$	2,02	$\pm 0,34$	3,70 _c ^a	$\pm 0,67$	5,48	$\pm 3,75$	1,78 ^b	$\pm 0,64$							
P																			
REF	0,27 _a	$\pm 0,07$	0,59	$\pm 0,21$	0,18 _a	$\pm 0,01$	0,11 _a ^b	$\pm 0,02$	0,17	$\pm 0,12$	0,17 ^{ab} _a	$\pm 0,06$							
FRT	0,55 _b	$\pm 0,11$	0,78	$\pm 0,23$	0,43 _b	$\pm 0,13$	1,10 _b	$\pm 0,17$	0,27	$\pm 0,23$	0,47 _b	$\pm 0,21$							
REG	0,47 _b	$\pm 0,07$	0,55	$\pm 0,16$	0,25 _a	$\pm 0,04$	0,20 _a	$\pm 0,09$	0,25	$\pm 0,03$	0,16 _a	$\pm 0,07$							
FRG	1,18 _c	$\pm 0,27$	1,17	$\pm 0,33$	0,49 _b	$\pm 0,11$	0,54 _c	$\pm 0,23$	0,80	$\pm 0,57$	0,47 _b	$\pm 0,17$							
K																			
REF	2,55 _a	$\pm 0,67$	5,76	$\pm 2,40$	2,20	$\pm 0,12$	1,57 _a	$\pm 0,32$	2,34	$\pm 1,69$	1,99	$\pm 0,78$							
FRT	3,92 _b	$\pm 0,70$	4,99	$\pm 1,38$	4,46	$\pm 1,19$	12,38 _b ^a	$\pm 1,03$	2,67	$\pm 2,23$	2,12 ^c	$\pm 0,96$							
REG	3,60 _{ab}	$\pm 0,58$	5,66	$\pm 1,63$	3,56	$\pm 0,56$	3,85 _c	$\pm 3,04$	2,97	$\pm 0,35$	1,85	$\pm 0,75$							
FRG	6,42 _c	$\pm 1,53$	5,67	$\pm 1,79$	3,98	$\pm 0,81$	5,42 _c	$\pm 1,06$	6,53	$\pm 4,78$	2,62	$\pm 0,94$							
Ca																			
REF	0,87	$\pm 0,46$	2,34	$\pm 1,07$	0,56	$\pm 0,08$	0,27 _a	$\pm 0,10$	0,82	$\pm 0,62$	0,36	$\pm 0,21$							
FRT	2,04	$\pm 0,75$	1,06	$\pm 0,32$	0,83	$\pm 0,60$	2,97 _b	$\pm 0,18$	1,32	$\pm 1,65$	0,78	$\pm 0,58$							
REG	1,86 ^a	$\pm 0,31$	1,94	$\pm 0,45$	0,86 ^b	$\pm 0,24$	0,53 _c	$\pm 0,12$	1,22 ^b	$\pm 0,16$	0,47	$\pm 0,19$							
FRG	3,54	$\pm 1,21$	1,46	$\pm 0,74$	0,83	$\pm 0,04$	1,18 _d	$\pm 0,19$	3,25	$\pm 2,23$	0,87	$\pm 0,33$							
Mg																			
REF	0,26 _a	$\pm 0,10$	0,66	$\pm 0,31$	0,25	$\pm 0,02$	0,12 _a	$\pm 0,02$	0,23	$\pm 0,17$	0,15	$\pm 0,08$							
FRT	0,56 _b	$\pm 0,17$	0,37	$\pm 0,11$	0,36	$\pm 0,23$	1,18 _b ^a	$\pm 0,11$	0,36	$\pm 0,42$	0,18 ^b	$\pm 0,11$							
REG	0,49 _b	$\pm 0,07$	0,54	$\pm 0,13$	0,33	$\pm 0,06$	0,23 _c	$\pm 0,07$	0,36	$\pm 0,04$	0,17	$\pm 0,07$							
FRG	0,94 _c	$\pm 0,28$	0,46	$\pm 0,20$	0,31	$\pm 0,02$	0,37 _c	$\pm 0,06$	0,96	$\pm 0,69$	0,27	$\pm 0,10$							
Mn																			
REF	0,01 _a	$\pm 0,00$	0,04	$\pm 0,02$	0,02	$\pm 0,00$	0,01	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,01	$\pm 0,00$							
FRT	0,03 _b	$\pm 0,00$	0,02	$\pm 0,01$	0,02	$\pm 0,00$	0,03	$\pm 0,01$	0,01	$\pm 0,01$	0,01	$\pm 0,00$							
REG	0,03 ^a _{bc}	$\pm 0,01$	0,03	$\pm 0,01$	0,02 ^b	$\pm 0,00$	0,02	$\pm 0,02$	0,01 ^c	$\pm 0,00$	0,01	$\pm 0,00$							
FRG	0,05 _c	$\pm 0,01$	0,03	$\pm 0,01$	0,04	$\pm 0,02$	0,03	$\pm 0,02$	0,03	$\pm 0,02$	0,01	$\pm 0,00$							

Letras expoentes diferentes na mesma linha e em cada ano, correspondem a diferenças significativas entre as três áreas ($p<0,05$), pelo teste *H* de Kruskal-Wallis.

Letras índice diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos ($p<0,05$), pelo teste *H* de Kruskal-Wallis.

Anexo 3.4.9 Valores médios e respectivo desvio padrão (\pm) da quantidade de N, P, K, Ca, Mg e Mn na biomassa do grupo das gramíneas (g m^{-2}) nas parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG) das áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e com radiação reduzida (RR), em Abril de 2001 e 2002.

	RT				AZ				RR												
	2001		2002		2001		2002		2001		2002										
	g m^{-2}																				
N																					
REF	0,85	$\pm 0,33$	0,48 _a	$\pm 0,22$	0,38	$\pm 0,22$	0,36	$\pm 0,31$	0,12	$\pm 0,05$	0,43	$\pm 0,20$									
FRT	0,90	$\pm 0,38$	1,96 _a _b	$\pm 0,74$	1,10	$\pm 0,75$	0,51 ^b	$\pm 0,16$	1,01	$\pm 1,52$	1,04 ^a	$\pm 0,40$									
REG	0,59 ^a	$\pm 0,14$	0,65 _a	$\pm 0,28$	1,05 ^b	$\pm 0,08$	0,78	$\pm 1,01$	0,25 ^c	$\pm 0,15$	0,46	$\pm 0,20$									
FRG	0,94	$\pm 0,56$	2,51 _b	$\pm 0,34$	1,28	$\pm 0,76$	0,89	$\pm 0,76$	0,61	$\pm 0,44$	0,42	$\pm 0,23$									
P																					
REF	0,12 ^a	$\pm 0,05$	0,10 _a	$\pm 0,05$	0,05 ^a	$\pm 0,03$	0,05	$\pm 0,04$	0,02 ^b	$\pm 0,01$	0,09	$\pm 0,04$									
FRT	0,16	$\pm 0,07$	0,58 _a _b	$\pm 0,22$	0,20	$\pm 0,14$	0,16 ^b	$\pm 0,05$	0,13	$\pm 0,19$	0,27 ^c	$\pm 0,10$									
REG	0,10 ^a	$\pm 0,02$	0,10 _a	$\pm 0,04$	0,13 ^a	$\pm 0,01$	0,11	$\pm 0,14$	0,02 ^b	$\pm 0,01$	0,07	$\pm 0,03$									
FRG	0,24	$\pm 0,15$	0,74 _b	$\pm 0,10$	0,32	$\pm 0,19$	0,24	$\pm 0,20$	0,14	$\pm 0,10$	0,12	$\pm 0,06$									
K																					
REF	1,19 ^a	$\pm 0,46$	0,84 _a	$\pm 0,39$	0,60 ^a	$\pm 0,35$	0,73	$\pm 0,62$	0,15 ^b	$\pm 0,06$	0,90	$\pm 0,42$									
FRT	1,28	$\pm 0,54$	3,42 _b	$\pm 1,30$	2,17	$\pm 1,48$	1,36	$\pm 0,43$	1,28	$\pm 1,92$	1,19	$\pm 0,46$									
REG	0,66 ^{ab}	$\pm 0,16$	1,03 _a	$\pm 0,44$	1,68 ^a	$\pm 0,12$	2,76	$\pm 3,58$	0,33 ^b	$\pm 0,21$	0,74	$\pm 0,32$									
FRG	1,22	$\pm 0,73$	3,31 _b	$\pm 0,44$	2,46	$\pm 1,47$	1,73	$\pm 1,47$	0,91	$\pm 0,65$	0,60	$\pm 0,33$									
Ca																					
REF	0,14	$\pm 0,05$	0,08 _a	$\pm 0,04$	0,07	$\pm 0,04$	0,04	$\pm 0,04$	0,02	$\pm 0,01$	0,08	$\pm 0,04$									
FRT	0,17	$\pm 0,07$	0,40 _a _b	$\pm 0,15$	0,19	$\pm 0,13$	0,09 ^b	$\pm 0,03$	0,18	$\pm 0,27$	0,20 ^a	$\pm 0,08$									
REG	0,11 ^a	$\pm 0,03$	0,09 _a	$\pm 0,04$	0,22 ^b	$\pm 0,02$	0,12	$\pm 0,15$	0,04 ^c	$\pm 0,03$	0,07	$\pm 0,03$									
FRG	0,24	$\pm 0,14$	0,44 _b	$\pm 0,06$	0,36	$\pm 0,21$	0,16	$\pm 0,13$	0,13	$\pm 0,09$	0,07	$\pm 0,04$									
Mg																					
REF	0,08 ^a	$\pm 0,03$	0,04 _a	$\pm 0,02$	0,04 ^a	$\pm 0,02$	0,04	$\pm 0,03$	0,01 ^b	$\pm 0,00$	0,04	$\pm 0,02$									
FRT	0,09	$\pm 0,04$	0,18 _b	$\pm 0,07$	0,10	$\pm 0,07$	0,05	$\pm 0,02$	0,07	$\pm 0,10$	0,07	$\pm 0,03$									
REG	0,06 ^a	$\pm 0,01$	0,05 _a	$\pm 0,02$	0,12 ^b	$\pm 0,01$	0,10	$\pm 0,13$	0,02 ^c	$\pm 0,01$	0,04	$\pm 0,02$									
FRG	0,11	$\pm 0,07$	0,18 _b	$\pm 0,02$	0,16	$\pm 0,10$	0,08	$\pm 0,07$	0,06	$\pm 0,04$	0,03	$\pm 0,02$									
Mn																					
REF	0,01	$\pm 0,00$	0,01 _a	$\pm 0,00$	0,01	$\pm 0,00$	0,01	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$									
FRT	0,01	$\pm 0,00$	0,02 ^a _{bc}	$\pm 0,01$	0,01	$\pm 0,01$	0,01 ^b	$\pm 0,00$	0,01	$\pm 0,01$	0,01 ^b	$\pm 0,00$									
REG	0,01 ^a	$\pm 0,00$	0,01 _{ab}	$\pm 0,00$	0,01 ^b	$\pm 0,00$	0,02	$\pm 0,02$	0,00 ^c	$\pm 0,00$	0,01	$\pm 0,00$									
FRG	0,01	$\pm 0,01$	0,02 _c	$\pm 0,00$	0,03	$\pm 0,02$	0,02	$\pm 0,02$	0,01	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$									

Letras expoentes diferentes na mesma linha e em cada ano, correspondem a diferenças significativas entre as três áreas ($p<0,05$), pelo teste *H* de Kruskal-Wallis.

Letras índice diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos ($p<0,05$), pelo teste *H* de Kruskal-Wallis.

Anexo 3.4.10 Valores médios e respectivo desvio padrão (\pm) da quantidade de N, P, K, Ca, Mg e Mn na biomassa do grupo das dicotiledóneas não leguminosas (g m^{-2}) nas parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG) das áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e com radiação reduzida (RR), em Abril de 2001 e 2002.

	RT				AZ				RR										
	2001		2002		2001		2002		2001		2002								
	g m^{-2}																		
N																			
REF	0,91	$\pm 0,67$	1,08 ^a	$\pm 0,29$	0,69	$\pm 0,11$	0,21 ^b	$\pm 0,03$	0,92	$\pm 0,72$	0,55 ^{ab}	$\pm 0,40$							
FRT	1,98	$\pm 0,91$	0,68	$\pm 0,58$	0,76	$\pm 0,94$	1,09	$\pm 1,20$	1,35	$\pm 2,07$	0,74	$\pm 0,76$							
REG	1,91	$\pm 0,69$	0,83	$\pm 0,36$	0,77	$\pm 0,29$	0,27	$\pm 0,11$	1,44	$\pm 0,16$	0,70	$\pm 0,26$							
FRG	3,51	$\pm 1,36$	0,35	$\pm 0,26$	0,62	$\pm 0,22$	0,55	$\pm 0,31$	4,48	$\pm 3,43$	1,36	$\pm 0,54$							
P																			
REF	0,14	$\pm 0,11$	0,23	$\pm 0,06$	0,12	$\pm 0,02$	0,04 _a	$\pm 0,01$	0,15	$\pm 0,12$	0,08	$\pm 0,06$							
FRT	0,38	$\pm 0,17$	0,16	$\pm 0,14$	0,18	$\pm 0,22$	0,37 _b	$\pm 0,41$	0,14	$\pm 0,22$	0,20	$\pm 0,21$							
REG	0,31 ^a	$\pm 0,11$	0,13	$\pm 0,06$	0,09 ^b	$\pm 0,03$	0,03 _a	$\pm 0,01$	0,21 ^a	$\pm 0,02$	0,09	$\pm 0,03$							
FRG	0,78	$\pm 0,30$	0,09	$\pm 0,06$	0,17	$\pm 0,06$	0,17 _b	$\pm 0,10$	0,63	$\pm 0,48$	0,36	$\pm 0,14$							
K																			
REF	1,33	$\pm 0,98$	2,03	$\pm 0,55$	1,42	$\pm 0,23$	0,49 _a	$\pm 0,08$	2,18	$\pm 1,70$	1,02	$\pm 0,74$							
FRT	2,61	$\pm 1,20$	1,24	$\pm 1,06$	1,78	$\pm 2,18$	3,57 _b	$\pm 3,96$	1,39	$\pm 2,13$	0,93	$\pm 0,97$							
REG	2,48	$\pm 0,90$	1,32	$\pm 0,57$	1,44	$\pm 0,53$	0,69 _{ac}	$\pm 0,27$	2,47	$\pm 0,27$	1,10	$\pm 0,41$							
FRG	4,61	$\pm 1,79$	0,45	$\pm 0,32$	1,42	$\pm 0,50$	1,28 _{bc}	$\pm 0,72$	5,47	$\pm 4,19$	2,02	$\pm 0,80$							
Ca																			
REF	0,70	$\pm 0,52$	0,93	$\pm 0,25$	0,40	$\pm 0,07$	0,12 _a	$\pm 0,02$	0,79	$\pm 0,62$	0,26	$\pm 0,19$							
FRT	1,81	$\pm 0,83$	0,48	$\pm 0,41$	0,41	$\pm 0,50$	0,88 _b	$\pm 0,98$	1,14	$\pm 1,74$	0,57	$\pm 0,60$							
REG	1,43	$\pm 0,52$	0,60	$\pm 0,26$	0,41	$\pm 0,15$	0,22 _{ab}	$\pm 0,09$	1,04	$\pm 0,11$	0,39	$\pm 0,14$							
FRG	2,59	$\pm 1,01$	0,18	$\pm 0,13$	0,42	$\pm 0,15$	0,38 _b	$\pm 0,21$	2,88	$\pm 2,20$	0,80	$\pm 0,32$							
Mg																			
REF	0,17	$\pm 0,13$	0,24	$\pm 0,07$	0,19	$\pm 0,03$	0,05	$\pm 0,01$	0,21	$\pm 0,17$	0,10	$\pm 0,07$							
FRT	0,46	$\pm 0,21$	0,14	$\pm 0,12$	0,18	$\pm 0,23$	0,29	$\pm 0,33$	0,30	$\pm 0,45$	0,11	$\pm 0,11$							
REG	0,35	$\pm 0,13$	0,16	$\pm 0,07$	0,16	$\pm 0,06$	0,07	$\pm 0,03$	0,31	$\pm 0,03$	0,13	$\pm 0,05$							
FRG	0,68	$\pm 0,26$	0,05	$\pm 0,04$	0,14	$\pm 0,05$	0,12	$\pm 0,07$	0,86	$\pm 0,66$	0,23	$\pm 0,09$							
Mn																			
REF	0,00 _a	$\pm 0,00$	0,01	$\pm 0,00$	0,01	$\pm 0,00$	0,00 _a	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,01	$\pm 0,00$							
FRT	0,02 _{ab}	$\pm 0,01$	0,00	$\pm 0,00$	0,01	$\pm 0,01$	0,01 _b	$\pm 0,01$	0,01	$\pm 0,01$	0,00	$\pm 0,00$							
REG	0,02 _b	$\pm 0,01$	0,01 ^a	$\pm 0,00$	0,01	$\pm 0,00$	0,00 _a ^b	$\pm 0,00$	0,01	$\pm 0,00$	0,00 ^{ab}	$\pm 0,00$							
FRG	0,04 _b	$\pm 0,01$	0,00	$\pm 0,00$	0,01	$\pm 0,00$	0,01 _b	$\pm 0,00$	0,02	$\pm 0,02$	0,01	$\pm 0,00$							

Letras expoentes diferentes na mesma linha e em cada ano, correspondem a diferenças significativas entre as três áreas ($p < 0,05$), pelo teste *H* de Kruskal-Wallis.

Letras índice diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$), pelo teste *H* de Kruskal-Wallis.

Anexo 3.4.11 Valores médios e respectivo desvio padrão (\pm) da quantidade de N, P, K, Ca, Mg e Mn na biomassa do grupo das leguminosas (g m^{-2}) nas parcelas de referência (REF), fertilizadas (FRT), regadas (REG) e fertilizadas e regadas (FRG) das áreas com radiação total (RT), sob o coberto de *Q. rotundifolia* (AZ) e com radiação reduzida (RR), em Abril de 2001 e 2002.

	RT		AZ				RR										
	2001		2002		2001		2002		2001								
	g m^{-2}																
N																	
REF	0,08 _a	$\pm 0,05$	3,56	$\pm 2,97$	0,24	$\pm 0,17$	0,29 _a	$\pm 0,30$	0,02	$\pm 0,03$							
FRT	0,10 _a	$\pm 0,08$	0,48 ^a	$\pm 0,77$	0,57	$\pm 0,59$	5,49 _b	$\pm 2,79$	0,00	$\pm 0,00$							
REG	0,87 _b	$\pm 0,73$	4,18 ^a	$\pm 2,20$	0,62	$\pm 0,85$	0,46 _a	$\pm 0,54$	0,32	$\pm 0,30$							
FRG	1,85 _b	$\pm 0,87$	3,00	$\pm 2,81$	0,13	$\pm 0,22$	2,25 _b	$\pm 1,44$	0,38	$\pm 0,64$							
P																	
REF	0,00 _a	$\pm 0,00$	0,26	$\pm 0,21$	0,01	$\pm 0,01$	0,02 _a	$\pm 0,02$	0,00	$\pm 0,00$							
FRT	0,01 _a	$\pm 0,01$	0,05 ^a	$\pm 0,07$	0,05	$\pm 0,05$	0,57 _b	$\pm 0,29$	0,00	$\pm 0,00$							
REG	0,06 _b	$\pm 0,05$	0,32 ^a	$\pm 0,17$	0,03	$\pm 0,04$	0,06 _{ac} ^b	$\pm 0,07$	0,02	$\pm 0,02$							
FRG	0,16 _b	$\pm 0,07$	0,34 ^a	$\pm 0,32$	0,01	$\pm 0,02$	0,12 _c ^a	$\pm 0,08$	0,03	$\pm 0,05$							
K																	
REF	0,03 _a	$\pm 0,02$	2,89 ^a	$\pm 2,41$	0,19	$\pm 0,14$	0,35 _a ^{ab}	$\pm 0,36$	0,01	$\pm 0,02$							
FRT	0,03 _a	$\pm 0,02$	0,33 ^a	$\pm 0,52$	0,51	$\pm 0,52$	7,44 _b	$\pm 3,79$	0,00	$\pm 0,00$							
REG	0,46 _b	$\pm 0,39$	3,31 ^a	$\pm 1,74$	0,44	$\pm 0,61$	0,40 _a ^b	$\pm 0,47$	0,17	$\pm 0,16$							
FRG	0,59 _b	$\pm 0,28$	1,91 ^a	$\pm 1,78$	0,09	$\pm 0,16$	2,41 _b ^a	$\pm 1,54$	0,15	$\pm 0,24$							
Ca																	
REF	0,04 _a	$\pm 0,02$	1,33	$\pm 1,11$	0,09	$\pm 0,07$	0,11 _a	$\pm 0,11$	0,01	$\pm 0,01$							
FRT	0,05 _a	$\pm 0,04$	0,19 ^a	$\pm 0,30$	0,23	$\pm 0,24$	2,00 _b	$\pm 1,02$	0,00	$\pm 0,00$							
REG	0,32 _b	$\pm 0,27$	1,25 ^a	$\pm 0,66$	0,22	$\pm 0,31$	0,19 _a ^b	$\pm 0,23$	0,14	$\pm 0,13$							
FRG	0,71 _b	$\pm 0,33$	0,83	$\pm 0,77$	0,06	$\pm 0,10$	0,65 _b	$\pm 0,41$	0,24	$\pm 0,40$							
Mg																	
REF	0,01 _a	$\pm 0,00$	0,38 ^a	$\pm 0,32$	0,02	$\pm 0,02$	0,04 _a ^{ab}	$\pm 0,04$	0,00	$\pm 0,00$							
FRT	0,01 _a	$\pm 0,01$	0,05 ^a	$\pm 0,08$	0,07	$\pm 0,08$	0,83 _b	$\pm 0,42$	0,00	$\pm 0,00$							
REG	0,08 _b	$\pm 0,07$	0,33 ^a	$\pm 0,17$	0,05	$\pm 0,07$	0,06 _a ^b	$\pm 0,07$	0,03	$\pm 0,03$							
FRG	0,15 _b	$\pm 0,07$	0,22	$\pm 0,21$	0,01	$\pm 0,02$	0,17 _{ab}	$\pm 0,11$	0,04	$\pm 0,07$							
Mn																	
REF	0,00 _a	$\pm 0,00$	0,02 _a	$\pm 0,01$	0,00	$\pm 0,00$	0,00 _a	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$							
FRT	0,00 _a	$\pm 0,00$	0,00 _b	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,01 _b	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$							
REG	0,00 _b	$\pm 0,00$	0,01 _a	$\pm 0,01$	0,00	$\pm 0,00$	0,00 _a ^b	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$							
FRG	0,00 _b	$\pm 0,00$	0,00 _b	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00 _c	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$							

Letras expoentes diferentes na mesma linha e em cada ano, correspondem a diferenças significativas entre as três áreas ($p<0,05$), pelo teste *H* de Kruskal-Wallis.

Letras índice diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos ($p<0,05$), pelo teste *H* de Kruskal-Wallis.