

**UNIVERSIDADE DE ÉVORA**

**SISTEMA DE CICLO DE NUTRIENTES EM ÁRVORES  
ISOLADAS DE *Quercus rotundifolia* Lam.**

**JORGE MANUEL DA SILVA DELGADO NUNES**

**ÉVORA**

**1998**

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

SISTEMA DE CICLO DE NUTRIENTES EM ÁRVORES  
ISOLADAS DE *Quercus rotundifolia* Lam.

JORGE MANUEL DA SILVA DELGADO NUNES



104 314

Dissertação apresentada à  
Universidade de Évora para a  
obtenção do grau de Mestre em  
Gestão de Recursos Biológicos

ÉVORA

1998

Este trabalho foi realizado no âmbito dos seguintes projectos:

"Ecologia dos montados de *Quercus suber* e *Quercus rotundifolia*: intercepção, transpiração, ciclo de nutrientes e vegetação espontânea" (**PAMAF-4005-95**)

"Processos hídricos, pedológicos e biológicos em montados de *Quercus suber* e *Quercus rotundifolia*" (**Programa PRAXIS XXI-3/3.2/Agr/2187/95**)

O autor beneficiou de uma bolsa de mestrado no âmbito do programa **PRAXIS XXI (BM/7222/95)**, concedida pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, durante a realização deste trabalho, bem como durante a realização da componente lectiva do curso de mestrado.

**À Célia, ao Duarte e ao futuro**

**À amizade do Zé e do Safara**

## **AGRADECIMENTOS**

À Fundação para a Ciência e a Tecnologia, queremos agradecer a concessão da bolsa de mestrado PRAXIS/BM/7222/95, sem a qual não teria sido possível a frequência deste curso de mestrado, nem a realização do presente trabalho com a dedicação e o empenho requeridos.

Ao Professor Luiz Carlos Gazarini, do Departamento de Biologia da Universidade de Évora, expressamos o nosso agradecimento pelo facto de nos ter sugerido este tema de trabalho, bem como, o de ter aceite a responsabilidade de ser nosso orientador. Agradecemos ainda o ter-nos proporcionado, dentro da Universidade de Évora, todas as condições necessárias à realização deste estudo e a forma como sempre nos apoiou durante a realização do mesmo.

Ao Professor Manuel Madeira, do Departamento de Ciências da Natureza do Instituto Superior de Agronomia, nosso co-orientador, estamos-lhe particularmente gratos pela disponibilidade sempre manifestada no esclarecimento de todas as dúvidas surgidas, pelas sugestões feitas para uma correcta execução do presente estudo e pelo apoio sistemático sempre manifestado ao longo das diferentes fases da sua realização.

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) agradecemos o facto de nos ter permitido o recurso aos dispositivos experimentais instalados para a realização do trabalho experimental, sem esquecer todos os esclarecimentos e sugestões transmitidas.

À Eng<sup>a</sup> Teresa Soares David, da Estação Florestal Nacional, agradecemos toda a ajuda e apoio que nos dispensou 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 Edgar Sousa, Presidente do Departamento de Ciências da Natureza do Instituto Superior de Agronomia, agradecemos o facto de nos ter permitido a realização de todas as análises necessárias à efectivação deste estudo, no Laboratório de Solos desse departamento.

Ao Professor Nuno Cortez, do Departamento de Ciências da Natureza do Instituto Superior de Agronomia, queremos agradecer todo o apoio demonstrado durante a realização das análises por cromatografia, além de todas as sugestões e auxílio bibliográfico que nos 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<sup>a</sup>. Carla Cruz, do Departamento de Biologia da Universidade de Évora, queremos manifestar o nosso agradecimento pela ajuda prestada na caracterização fitossociológica do local do ensaio.

Ao Dr. Luis Silva Dias, do Departamento de Biologia da Universidade de Évora, agradecemos toda a sua disponibilidade para nos esclarecer as dúvidas estatísticas. Um especial agradecimento é devido ao facto de ser sua, em grande parte, a responsabilidade pela nossa frequência deste curso de mestrado.

Às Dr<sup>as</sup> Celeste Sá, Isabel Pereira e Paula Simões, e à Eng<sup>ª</sup> Anabela Belo, do Departamento de Biologia da Universidade de Évora, agradecemos todo o apoio concedido nas várias fases da realização deste estudo, mas principalmente a amizade manifestada e o excelente ambiente de trabalho proporcionado dentro e fora do Laboratório de Botânica.

Aos Srs. Jorge Velez e José Rato, e á Sra. D. Anabela Engeitado, do Laboratório de Botânica, do Departamento de Biologia da Universidade de Évora, queremos agradecer a indispensável ajuda, facultada na recolha e preparação de amostras dos materiais estudados, bem como na preparação dos materiais usados nas recolhas das amostras de precipitação.

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

Às Sras. D. Ana Maria Batista, D. Isabel Balsemão, D. Maria João Respício e D. Maria de Lurdes Canilho, do Departamento de Ciências da Natureza do Instituto Superior de Agronomia, agradecemos a ajuda prestada na caracterização analítica dos materiais estudados, no âmbito dos trabalhos realizados no Laboratório de Solos.

Queremos ainda expressar o nosso agradecimento à Sra. D. Maria Cristina Neves, do Departamento de Ciências da Natureza 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 contribuíram para a feliz conclusão deste trabalho.

Finalmente, uma palavra de eterna gratidão pelo apoio demonstrado pela minha família, principalmente à minha esposa e filho, pelo tempo que deixei de estar com eles.



# **ÍNDICE GERAL**

<b>SUMÁRIO</b>	iii
<b>SUMMARY</b>	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	vii
<b>ÍNDICE DE QUADROS</b>	ix
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b>	xi
<b>1 . INTRODUÇÃO</b>	1
<b>2 . MATERIAIS E MÉTODOS</b>	5
<b>2.1 Caracterização da área de estudo</b>	5
2.1.1 Localização	5
2.1.2 Clima	5
2.1.3 Geomorfologia/Litologia	8
2.1.4 Solos	9
2.1.5 Vegetação	9
<b>2.2 Localização e instalação das parcelas de estudo</b>	11
<b>2.3 Metodologia experimental</b>	13
2.3.1 Precipitação bruta diária	13
2.3.2 Precipitação bruta acumulada	13
2.3.3 Precipitação sob-coberto	14
2.3.4 Escorramento ao longo do tronco	15
2.3.5 Solução do solo	17
<b>2.4 Amostragem</b>	18
2.4.1 Solo	18
2.4.2 Precipitação bruta	19
2.4.3 Precipitação sob-coberto	20
2.4.4 Escorramento ao longo do tronco	21
2.4.5 Solução do solo	21
<b>2.5 Metodologia laboratorial</b>	22
2.5.1 Preparação de amostras para análise	22
2.5.1.1 Camadas minerais do solo	22
2.5.1.2 Soluções	23
2.5.2 Metodologia analítica	23
2.5.2.1 Camadas minerais do solo	23
2.5.2.2 Soluções	24

<b>2.6 Métodos estatísticos e cálculos</b>	25
2.6.1 Precipitação bruta diária	25
2.6.2 Camadas minerais do solo	26
2.6.3 Precipitação bruta, precipitação sob-coberto e escorramento ao longo do tronco	27
2.6.4 Solução do solo	28
<b>3 RESULTADOS</b>	31
<b>3.1 Caracterização química do solo</b>	31
<b>3.2 Soluções</b>	34
3.2.1 Precipitação bruta	34
3.2.2 Precipitação sob-coberto	40
3.2.3 Escorramento ao longo do tronco	45
3.2.4 Comparação do valor de pH e das concentrações de iões nas precipitações bruta, e sob-coberto e no escorramento ao longo do tronco	50
3.2.5 Variação do valor de pH e da concentração de iões na precipitação sob-coberto com a distância ao tronco	52
3.2.6 Quantidades de elementos transportados pela precipitação bruta, precipitação sob-coberto e escorramento ao longo do tronco	54
3.2.7 Solução do solo	56
<b>4 . DISCUSSÃO</b>	61
<b>5 . CONCLUSÕES</b>	69
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	71
<b>ANEXOS</b>	79

## SUMÁRIO

Extensas áreas do Sul de Portugal encontram-se ocupadas com montados de sobro e azinho, utilizados em regime agro-silvo-pastoril, assumindo grande importância económica, ecológica e social. A informação científica disponível sobre o funcionamento do ciclo de nutrientes destes sistemas é escassa e pouco aprofundada.

Procurou-se com este trabalho estudar as alterações na composição química da precipitação depois de atravessar a copa de uma azinheira isolada, e qual o seu contributo para as alterações na solução de solo, e nas características físico químicas deste.

No Centro de Estudos e Experimentação da Mitra da Universidade de Évora (Herdade da Mitra), quantificou-se e determinou-se a composição química da precipitação bruta, precipitação sob-coberto e escorrimento ao longo dos troncos, numa árvore isolada de *Quercus rotundifolia* Lam., de forma continuada durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997. Instalaram-se sistemas de recolha de precipitação bruta, no cimo de uma torre de 12 m de altura, e de precipitação sob-coberto a diferentes distâncias do tronco debaixo da copa da árvore, segundo os quatro eixos cardeais. Instalaram-se sistemas de recolha da precipitação fora da projecção vertical da copa, a duas distâncias do tronco. As amostras para processamento analítico foram recolhidas semanalmente.

Recolheu-se a solução de solo sob a projecção vertical da copa, por drenagem a 15 e 30 cm de profundidade, desde 15 de Abril a 3 de Junho de 1997.

Recolheram-se amostras de solo a quatro níveis de profundidade (0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm), a 0,25 e 1,00 m de distância do tronco das árvores, no limite de projecção da copa (distância variável com a dimensão da copa) e fora da influência desta (a 20 m do tronco), segundo as quatro direcções definidas pelos pontos cardeais.

Constatou-se que as características apresentadas pela precipitação bruta foram similares às encontradas em outros locais do nosso país.

Verificou-se um aumento da concentração dos diversos elementos químicos na precipitação sob-coberto, em relação à precipitação bruta, principalmente no caso do potássio, do cálcio, do cloro e do sulfato.

No escorrimento ao longo do tronco registou-se um grande aumento da concentração dos diversos elementos químicos em relação à precipitação bruta, bem como em relação à precipitação sob-coberto, principalmente no caso do cálcio, do potássio e do cloreto. Esta componente do estudo, embora representando uma pequena quantidade de volume em relação à área da copa, traduziu-se numa elevada quantidade de elementos químicos quando se considerou a sua possível área de influência.

Os teores do potássio, do carbono e do azoto do solo geralmente diminuíram com a distância ao tronco da árvore, bem como com a presença ou ausência da copa desta.

Verificou-se uma grande variabilidade temporal e espacial dos parâmetros caracterizadores da solução de solo, merecendo um realce especial a variabilidade de valores do pH, bem como a dos do nitrato.

Estudos mais aprofundados são necessários para se poder interpretar em maior profundidade e de uma forma mais completa o funcionamento do ciclo de nutrientes em árvores isoladas de *Quercus rotundifolia*.

## SUMMARY

Extensive areas of the Southern Portugal are open oak woodlands, called "montados". These formations are characterised by a sparse overstorey of *Quercus rotundifolia* Lam. (holm oak) and *Q. suber* L. (cork oak) trees and an understorey of woody shrub communities, with evergreen sclerophyll leaves.

Although considerable research has been carried out regarding precipitation-vegetation interactions in forests, there is little detailed information on water and bioelements dynamics for these oak species.

The main purpose of this work was to study changes in rainwater chemistry, passing through the canopy of an isolated *Q. rotundifolia*, and its influence on soil and soilwater, in order to extend knowledge on nutrient cycling at the level of individual trees.

The study was carried out on an isolated tree, at the C.E.E.M., Universidade de Évora, from November-1996 to August-1997. Collectors have been set up on the top of the canopy, for gross rainfall, on the ground cover, at different distances from the stem, for throughfall, and in the open at the soil level. The amounts of gross rainfall, throughfall and stemflow were measured continuously, and samples for chemical analysis were collected weekly.

The soil solution was collected with zero tension lysimeters, at 15 and 30 cm depth, beneath the crown, from April-15 to June-3.

Soil samples at 0-5, 5-10, 10-20 and 20-30 cm depth, were taken both below the crown and in the open, for chemical analysis.

In comparison with gross rainfall, the water collected as throughfall, and particularly as stemflow, contained greater concentrations of all the ions studied, particularly of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  and  $\text{Cl}^-$ . Additionally, a differentiation in ion concentration was found in throughfall, according to the distance from the stem, the highest concentration being found near the stem. The highest values of pH were found in the stemflow.

In the soil solution, low pH values and high nitrate concentrations were observed simultaneously. Furthermore, the concentrations of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{NH}_4^+$  decreased with depth, whereas the concentrations of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  increased in the same direction.

The top 5 cm soil underneath the tree canopy showed significantly higher contents of carbon, nitrogen and potassium than in the open. These differences may

be ascribed to the horizontal differentiation, previously mentioned, on the chemical concentrations of the precipitation solutions bellow the tree crown and in the open.

In spite of the results obtained, more profound studies are needed, in order to determine the mechanisms involved in the nutrient cycling processes, in individual trees of this species.

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> - Temperaturas médias mensais (—●— diária, ---●--- máxima e ----- mínima) da Estação Meteorológica ÉVORA/Mitra para o período de 1941-70 (Reis & Gonçalves, 1985).	6
<b>Figura 2.2.</b> - Diagrama pluviotérmico da Estação Meteorológica ÉVORA/Mitra para o período de 1941-70 (Reis & Gonçalves, 1985).	7
<b>Figura 2.3</b> - Planta da Herdade da Mitra (C.E.E.M.), onde se sinaliza (●) a localização das parcelas de estudo.	10
<b>Figura 2.4</b> – Aspecto geral da parcela I, com destaque para a azinheira onde se centraram os estudos da precipitação sob-coberto.	10
<b>Figura 2.5.</b> – Pormenor dos udómetros da recolha da precipitação sob-coberto	15
<b>Figura 2.6.</b> – Aspecto parcial da parcela I, com destaque para o dispositivo de recolha do escorrimento ao longo do tronco.	16
<b>Figura 2.7.</b> – Aspecto parcial da parcela II, com destaque para os dispositivos de recolha de solução de solo por gravidade.	18
<b>Figura 2.8</b> - Esquema de amostragem da precipitação bruta, durante período de Novembro de 1996 a Setembro de 1997 (● amostras semanais e ● amostras quinzenais).	20
<b>Figura 3.1.</b> – Valores semanais da precipitação e valores médios do pH na precipitação bruta em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.	35
<b>Figura 3.2.</b> – Valores médios da concentração dos catiões básicos na precipitação bruta em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.	36
<b>Figura 3.3.</b> – Valores médios da concentração do amónio e da do nitrato na precipitação bruta em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.	37
<b>Figura 3.4.</b> – Valores médios da concentração do cloreto, do fosfato e do sulfato na precipitação bruta em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.	38
<b>Figura 3.5.</b> – Valores médios do pH na precipitação sob-coberto em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.	41
<b>Figura 3.6.</b> – Valores médios da concentração dos catiões básicos na precipitação sob-coberto em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.	41
<b>Figura 3.7.</b> – Valores médios da concentração do amónio e da do nitrato na precipitação sob-coberto em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.	42
<b>Figura 3.8.</b> – Valores médios da concentração do cloreto, do fosfato e do sulfato na precipitação sob-coberto em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.	43
<b>Figura 3.9.</b> – Valores médios do pH no escorrimento ao longo do tronco em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.	46

<b>Figura 3.10.</b> – Valores médios da concentração dos catiões básicos no escorrimento ao longo do tronco em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.	47
<b>Figura 3.11.</b> – Valores médios da concentração do amónio e da do no escorrimento ao longo do tronco em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.	47
<b>Figura 3.12.</b> – Valores médios da concentração do cloreto, do fosfato e do sulfato no escorrimento ao longo do tronco em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.	48

## ÍNDICE DE QUADROS

<b>Quadro 3.1 - Valores médios do pH e das concentrações das bases de troca, do potássio e do fósforo extractáveis, do carbono e do azoto determinadas a partir de amostras (n=4) recolhidas a quatro níveis de profundidade e à distância de um metro do tronco das árvores. Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas pelo teste de Student-Newman-Keuls.</b>	32
<b>Quadro 3.2 - Valores médios do pH e da concentração das bases de troca, do potássio e do fósforo extractáveis, do carbono e do azoto, determinados a partir de amostras (n=4) recolhidas, nos 5 cm superficiais do solo, a 0,25 m e 1,0 m do tronco, no limite da projecção copa (L.P.C.) e fora do limite da projecção da copa (F.P.C.). Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas pelo teste de Student-Newman-Keuls.</b>	32
<b>Quadro 3.3 - Valores da razão C/N, calculados a partir dos teores de carbono e azoto, nos 5 cm superficiais do solo, a 0,25 m e 1,0 m do tronco, no limite da projecção copa (L.P.C.) e fora do limite da projecção da copa (F.P.C.).</b>	33
<b>Quadro 3.4 - Estatística descritiva relativa aos valores de pH e às concentrações de <math>\text{Ca}^{2+}</math>, <math>\text{Mg}^{2-}</math>, <math>\text{Na}^+</math>, <math>\text{K}^+</math>, azoto mineral (<math>\text{NH}_4^+</math> e <math>\text{NO}_3^-</math>), <math>\text{PO}_4^{3-}</math>, <math>\text{Cl}^-</math> e <math>\text{SO}_4^{2-}</math> na precipitação bruta recolhida durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.</b>	34
<b>Quadro 3.5 - Coeficientes de correlação e respectivas probabilidades associadas, entre a quantidade de precipitação bruta (Pb) e os valores de pH, e da concentração de catiões e aníones.</b>	38
<b>Quadro 3.6 - Coeficientes de correlação e respectivas probabilidades associadas, entre os valores dos diferentes parâmetros determinados na precipitação bruta.</b>	39
<b>Quadro 3.7 - Estatística descritiva relativa aos valores de pH e às concentrações de <math>\text{Ca}^{2+}</math>, <math>\text{Mg}^{2-}</math>, <math>\text{Na}^+</math>, <math>\text{K}^+</math>, azoto mineral (<math>\text{NH}_4^+</math> e <math>\text{NO}_3^-</math>), <math>\text{PO}_4^{3-}</math>, <math>\text{Cl}^-</math> e <math>\text{SO}_4^{2-}</math> na precipitação sob-coberto recolhida durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.</b>	40
<b>Quadro 3.8 - Coeficientes de correlação e respectivas probabilidades associadas, entre a quantidade de precipitação sob-coberto (Psc) e os valores de pH, e da concentração de catiões e aníones.</b>	43
<b>Quadro 3.9 - Coeficientes de correlação e respectivas probabilidades associadas, entre os valores dos diferentes parâmetros determinados na precipitação sob-coberto.</b>	44
<b>Quadro 3.10 - Estatística descritiva relativa aos valores de pH e às concentrações de <math>\text{Ca}^{2+}</math>, <math>\text{Mg}^{2-}</math>, <math>\text{Na}^+</math>, <math>\text{K}^+</math>, azoto mineral (<math>\text{NH}_4^+</math> e <math>\text{NO}_3^-</math>), <math>\text{PO}_4^{3-}</math>, <math>\text{Cl}^-</math> e <math>\text{SO}_4^{2-}</math> no escorramento ao longo do tronco recolhido durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.</b>	45
<b>Quadro 3.11 - Coeficientes de correlação e respectivas probabilidades associadas, entre a quantidade de escorramento ao longo do tronco (El) e os valores de pH, e da concentração de catiões e aníones.</b>	48
<b>Quadro 3.12 - Coeficientes de correlação e respectivas probabilidades associadas, entre os valores dos diferentes parâmetros determinados no escorramento ao longo do tronco.</b>	49
<b>Quadro 3.13 - Valores médios de pH e das concentrações de <math>\text{Ca}^{2+}</math>, <math>\text{Mg}^{2-}</math>, <math>\text{Na}^+</math>, <math>\text{K}^+</math>, azoto mineral (<math>\text{NH}_4^+</math> e <math>\text{NO}_3^-</math>), <math>\text{PO}_4^{3-}</math>, <math>\text{Cl}^-</math> e <math>\text{SO}_4^{2-}</math> nas soluções da precipitações bruta (Pb), da precipitação sob-coberto (Psc), e do escorramento ao longo do tronco (El), recolhidas durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997. Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas pelo teste de Student-Newman-Keuls, e pelo teste de comparação múltipla específico para o pH.</b>	50
<b>Quadro 3.14 - Razões entre as concentrações (<math>\mu\text{mol c l}^{-1}</math>) dos catiões básicos na precipitação bruta, na precipitação sob-coberto e no escorramento ao longo do tronco.</b>	51

<b>Quadro 3.15- Razões entre as concentrações (<math>\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}</math>) de aníões na precipitação bruta, na precipitação sob-coberto e no escorrimento ao longo dos troncos.</b>	52
<b>Quadro 3.16 - Valores médios de pH e das concentrações de <math>\text{Ca}^{2+}</math>, <math>\text{Mg}^{2+}</math>, <math>\text{Na}^+</math>, <math>\text{K}^+</math>, azoto mineral (<math>\text{NH}_4^+</math> e <math>\text{NO}_3^-</math>), <math>\text{PO}_4^{3-}</math>, <math>\text{Cl}^-</math> e <math>\text{SO}_4^{2-}</math> nas soluções recolhidas ao longo do tronco (Distância 0), sob a copa da árvore (Distâncias 1 e 2), no limite da projecção da copa da árvore (Distância 3), fora do limite da projecção da copa da árvore (Distâncias 4 e 5) e na torre acima da copa da árvore (Pb), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997. Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas pelo teste de Student-Newman-Keuls.</b>	53
<b>Quadro 3.17 - Quantidades de elementos químicos transportados pelas precipitações bruta e sob-coberto e pelo escorrimento ao longo do tronco, de Novembro de 1997 a Agosto de 1998.</b>	55
<b>Quadro 3.18 - Quantidades de elementos transportados pelo escorrimento ao longo do tronco, de Novembro de 1997 a Agosto de 1998, considerando como área por ele influenciada, uma coroa circular à volta do tronco da árvore, com 0,2, 0,5 e 1,0 m de raio.</b>	55
<b>Quadro 3.19 - Estatística descritiva relativa aos valores de pH e às concentrações de <math>\text{Ca}^{2+}</math>, <math>\text{Mg}^{2+}</math>, <math>\text{Na}^+</math>, <math>\text{K}^+</math>, azoto mineral (<math>\text{NH}_4^+</math> e <math>\text{NO}_3^-</math>), <math>\text{PO}_4^{3-}</math>, <math>\text{Cl}^-</math> e <math>\text{SO}_4^{2-}</math> na solução de solo recolhida a 15 e a 30 cm de profundidade, no período de 15 de Abril a 3 de Junho de 1997.</b>	57
<b>Quadro 3.20 - Razões entre as concentrações (<math>\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}</math>) dos catiões básicos na solução do solo recolhida a 15 e a 30 cm de profundidade.</b>	58
<b>Quadro 3.21 - Razões entre as concentrações (<math>\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}</math>) de aníões na solução do solo recolhida a 15 e a 30 cm de profundidade.</b>	59
<b>Quadro 3.22 - Valores de pH e valores da concentração de nitrato nas diferentes amostras de solução de solo recolhidas a 15 (Prof. 1) e a 30 cm (Prof. 2) de profundidade. Nos casos em que surge (-) não foi possível determinar o referido parâmetro.</b>	60

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

- C. E. E. M. – Centro de Estudos e Experimentação da Mitra  
C. V. – Coeficiente de variação  
Desvio pad. – Desvio padrão  
Elt- Escorrimento ao longo do tronco  
Erro pad. – Erro padrão  
Evapotranspiração não aj. – Evapotranspiração não ajustada  
Evapot. Poten. – Evapotranspiração potencial  
Evapot. Real – Evapotranspiração real  
F. P. C. – Fora da projecção da copa  
H. R. Ar – Humidade relativa do ar  
L. P. C. – Limite da projecção da copa  
Média da Temp. Máx. – Média da temperatura máxima  
Média da Temp. Mín. – Média da temperatura mínima  
 $n$  – número de intens da amostra  
Nº de dias Neb.- Número de dias com nebulosidade  
n. s. – não significativas  
Pb – Precipitação bruta  
Prec. Med. – Precipitação média  
Prof. - Profundidade  
Psc – Precipitação sob-coberto  
 $t$  –  $t$  de Student  
Temp Máx. Abs. – Temperatura máxima absoluta  
Temp. Méd. – Temperatura média  
Temp. Mín Abs.- Temperatura mínima absoluta  
Var. Arm. de Água Util. – Variação do armazenamento da água utilizável



## **1 . INTRODUÇÃO**

Um dos aspectos fundamentais conducentes a uma correcta gestão dos sistemas florestais consiste no conhecimento aprofundado do funcionamento do seu sistema de ciclo de nutrientes (Pritchett & Fisher, 1987) dada a evidente complexidade da sua dinâmica em função das espécies e da geografia (Cole & Rapp, 1980; Attiwill & Leeper, 1987).

A quantidade de nutrientes que entra num sistema florestal por via atmosférica, quer através da precipitação bruta, quer através da deposição seca, que em grande parte é fornecida ao solo por lavagem das copas, pode não ser considerada significativa quando considerado numa perspectiva anual. Tendo em conta no entanto a idade média dos povoamentos florestais, quer eles sejam exclusivamente para produção de madeira, quer sejam sujeitos a um tipo de exploração mais dilatada no tempo (sistemas agro-silvo-pastoris), esta fonte de nutrientes assume outra relevância (Pritchett & Fisher, 1987). Ainda segundo Khanna & Ulrich, (1991), consoante o nutriente em causa e o local onde se situa o povoamento e a espécie que o compõe, os inputs atmosféricos poderão satisfazer 40 a 100% das necessidades anuais de incremento de biomassa.

No caso do azoto, a variação referida pode mesmo ser entre 5% e 32% das necessidades anuais da vegetação, consoante nos aproximamos de zonas industriais e centros populacionais (Cole & Rapp, 1980).

Numerosos estudos têm sido realizados com o objectivo de estudar o comportamento e avaliar a importância destas fontes de nutrientes em povoamentos florestais um pouco por todo o mundo.

Trabalhos realizados em sistemas naturais ou semi-naturais são relativamente comuns, tendo-se encontrado trabalhos em floresta húmida no Brasil (Lloyd & Marques Fº., 1998) e na Colômbia (Veneklaas, 1990), e em floresta temperada nos Estados Unidos da América (Rolfe *et al.*, 1978; Peterson & Rolfe, 1982; Edmonds *et al.*, 1991 e Tajchman *et al.*, 1991).

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

Estudos em povoamentos de pinheiro de diferentes espécies, têm sido realizados na Alemanha (Feger et al., 1990), na Bulgária (Ignatova, 1995), no Chile (Huber & Oyarzun, 1990), em Espanha (Calvo de Anta et al. 1979; Calvo de Anta & Viqueira, 1981; Lopez et al., 1989; Cascón et al., 1994 e Domingo et al., 1994), nos Estados Unidos da América (Klemmedson, 1983 e Cappellato & Peters, 1995), na França (Forgeard, 1980), na Finlândia (Helmisaari, 1995), na Irlanda (Farrel, 1990), na Nova Zelândia (Baker et al., 1985) e no Reino Unido (Alcock & Morton, 1981, 1985).

Com diferentes espécies de eucalipto, encontraram-se trabalhos realizados na Austrália (Attiwill, 1966, O'Connell, 1985 e Adams & Attiwill, 1986, 1991), em Espanha (Calvo de Anta et al. 1979) e nos Estados Unidos da América (McColl, 1981).

Nas quercíneas são de salientar os trabalhos realizados em: carvalho negral em Espanha (Escudero et al. 1985 e Moreno et al., 1994); carvalho roble, na Áustria (Berger & Glatzel, 1994), em Espanha (Calvo de Anta et al. 1979; Calvo de Anta & Viqueira, 1981) e na Holanda (Breemen et al. 1987, Pape et al. 1989 e Velthorst & Breemen, 1989) e em azinheira também em Espanha (Escudero et al. 1985; Bellot & Escarre, 1989, 1991; Lopez et al., 1989; Rodà et al., 1990). Em outras espécies do género *Quercus*, realizaram-se trabalhos da mesma índole principalmente nos Estados Unidos da América (Lovett & Lindberg, 1984; Callaway & Nadakarni, 1991; Potter et al. 1991; Potter, 1992 e Cappellato & Peters, 1995).

Em Portugal são de salientar os trabalhos realizados em castanheiro por Portela & Pires (1995) e em eucalipto e pinheiro por Cortez (1996), estudos estes realizados numa perspectiva do povoamento e não da árvore isolada.

No Sul de Portugal assume ainda grande importância no sector florestal a área ocupada pelos montados de sobreiro e azinho. Por um lado, devido à sua extensão e por outro devido à sua importância ecológica e social, dado serem ainda nestas áreas que muitas das nossas espécies faunísticas e florísticas encontram condições adequadas, e em que muitos dos circuitos económicos da região baseiam a sua actividade.

A área da azinheira em povoamentos puros nesta zona do país é a segunda mais importante, a seguir ao sobreiro, com  $426,3 \times 10^3$  há (D.G.F., 1992).

Dadas as grandes alterações verificadas ao nível da política agrícola comunitária, verificadas nos últimos anos (set-aside, agro-ambientais), estes povoamentos voltam a adquirir um interesse de utilização renovado, dada a sua vertente agro-silvo-pastoril que permite a sua utilização com fins múltiplos.

Os montados do Sul de Portugal, quer os de sobre quer os de azinho, caracterizam-se por serem povoamentos pouco densos, podendo mesmo encontrar-se montados em que a maioria dos indivíduos que o compõem se encontram isolados. Esta situação poderá levar a que esses indivíduos funcionem como captores, não só para a precipitação como para os nutrientes, através da intercepção da precipitação e da concentração e lavagem de nutrientes da copa (Dancette & Poulin, 1969 e Joffre & Rambal, 1986).

Parece portanto fundamental conhecer o funcionamento destes sistemas, ao nível do ciclo de nutrientes, de maneira a ser possível exercer uma gestão sustentada dos mesmos. No entanto, a informação científica disponível no nosso país sobre este tema é escassa, sendo de salientar os trabalhos realizados por Salgueiro (1973) e por Baltasar et al. (1983), em que se evidencia o efeito benéfico das azinheiras, quando comparado com a situação fora da copa, na fertilidade do solo e na produção de pastagens.

Mesmo quando se consideram os trabalhos realizados sobre esta espécie, no estrangeiro, nomeadamente os realizados em Espanha (Escudero et al. 1985; Bellot & Escarre, 1989, 1991; Lopez et al., 1989; Rodà et al., 1990), constata-se que os mesmos foram realizados em povoamentos muito densos, por vezes quase próximos das condições de bosque, pelo que não nos permitem uma aplicação directa para as condições características do montado de azinho.

Trabalhos realizados em árvores isoladas, e mesmo considerando estudos à escala mundial, apenas se encontraram, para além dos já referidos Dancette & Poulin (1969) e Joffre & Rambal (1986) os trabalho realizados por Gersper & Holowaychuk (1970) em faia, os de Ryan & McGarity (1983) em eucalipto e os de Gauquelin et al. (1992) em *Juniperus thurifera* L..

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

Face ao cenário encontrado, no referente ao nível de conhecimentos técnico-científicos existente sobre a azinheira, constatou-se a necessidade de estudar o funcionamento do ciclo de nutrientes desta espécie para as condições do nosso país.

Para o efeito, e utilizando as estruturas montadas através 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) a decorrerem na Herdade da Mitra, Universidade de Évora, realizou-se este trabalho paralelamente a outros de índole hidrológica.

Assim no decorrer deste trabalho efectuou-se embora com carácter preliminar dada a sua natureza:

- A caracterização físico química dos solos, sob e fora da copa de árvores isoladas.
- A quantificação da precipitação bruta acima do copado da azinheira e caracterização da respectiva composição química, para determinar os "inputs" de nutrientes da atmosfera.
- A quantificação e caracterização química da precipitação sob-coberto, para avaliar a quantidade de elementos removidos da copa pela precipitação bruta.
- A quantificação e caracterização química do escorrimento ao longo do tronco a fim de avaliar a respectiva importância na remoção de nutrientes para o solo.
- A amostragem da solução, próximo da superfície e a 30 cm de profundidade, para caracterizar a respectiva composição química.
- A avaliação da quantidade de elementos devolvida ao solo, sob a copa das árvores por influência da precipitação e da respectiva distribuição.

## **2 . MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Caracterização da área de estudo**

#### **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° 01' W e a 38° 32' N, distando da cidade de Évora cerca de 12 km. Este centro é também conhecido vulgarmente por Herdade da Mitra.

#### **2.1.2 Clima**

O C. E. E. M possui uma Estação Meteorológica (Estação ÉVORA/Mitra) cujos dados climáticos se utilizam para a caracterização climática geral do local de estudo, tendo-se utilizado os referentes ao período 1941-70 (ANEXO I) (Reis & Gonçalves, 1985).

A temperatura média anual é de 15,4 °C, sendo os meses de Julho e Agosto os que apresentam a temperatura média mensal mais alta (23,0 °C); o mês de Janeiro, por seu turno, é aquele que apresenta temperatura média mensal mais baixa (8,2 °C).

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

No tocante às médias mensais das temperaturas máximas e mínimas (Fig. 2.1), verifica-se que as primeiras variam entre 13,4 °C (Janeiro) e 32,0 °C (Julho), enquanto que as segundas variam entre 3,1 °C (Janeiro) e 14,2 °C (Agosto).

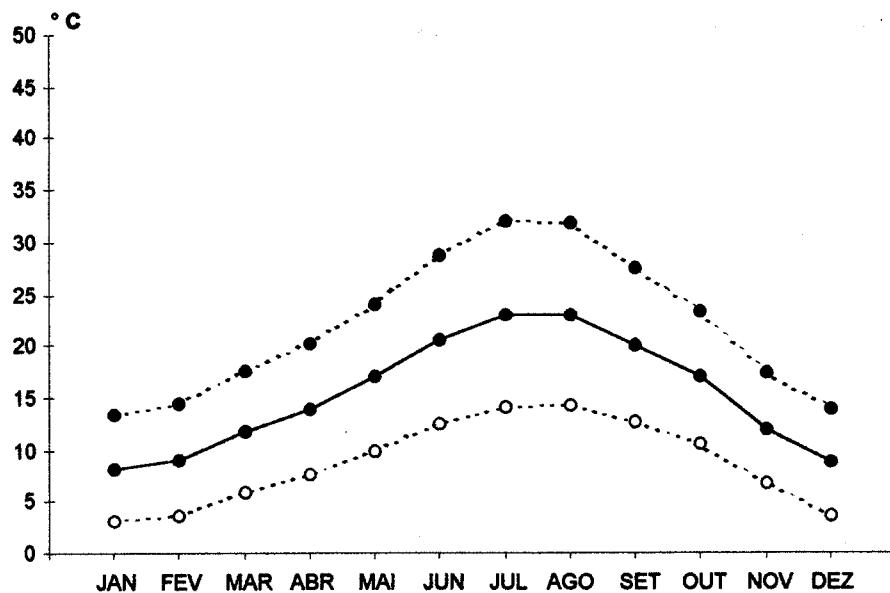


Figura 2.1. - Temperaturas médias mensais (—●— diária, ---●--- máxima e ---○--- mínima) da Estação Meteorológica ÉVORA/Mitra para o período de 1941-70 (Reis & Gonçalves, 1985).

A precipitação média anual é de 700,8 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 2.2, onde se constata a existência 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, 1960<sup>1</sup>) e um período chuvoso (Outubro a Maio) em que essa situação não se verifica. Os meses do período chuvoso contribuem com 91,4% para o total da precipitação anual, enquanto os meses correspondentes ao período seco contribuem apenas com 8,6%; uma contribuição excessivamente diminuta tendo em consideração o período de tempo referido.

<sup>1</sup> Walter & Lieth (1960) citado por Shepherd (1986).

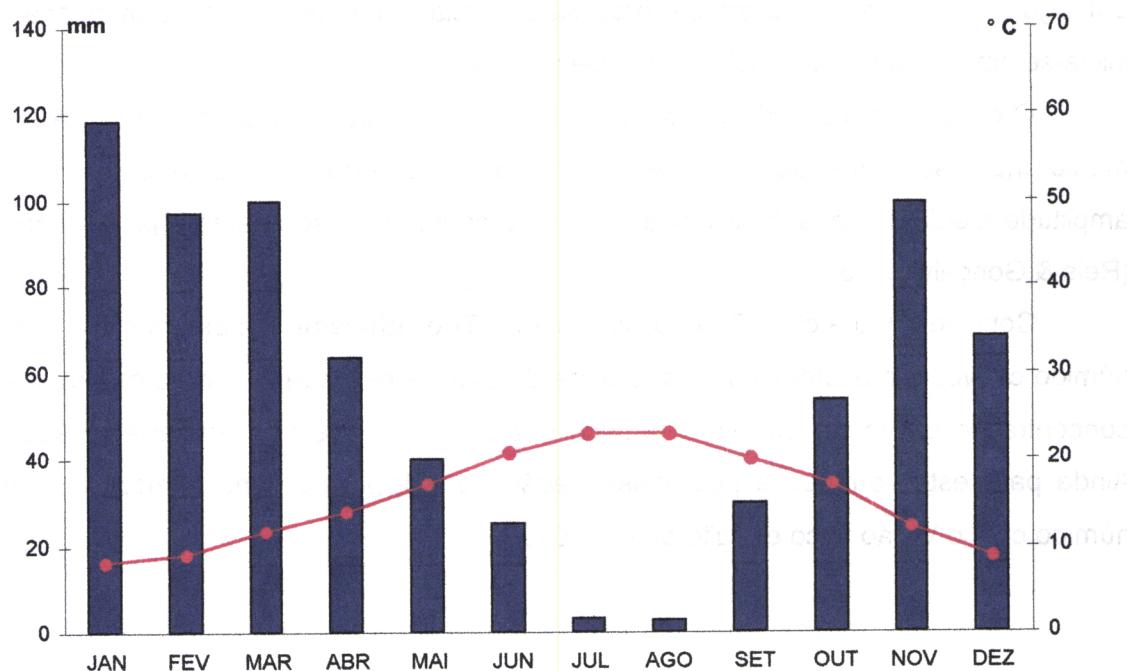


Figura 2.2. - Diagrama pluviotérmico da Estação Meteorológica ÉVORA/Mitra para o período de 1941-70 (Reis & Gonçalves, 1985).

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 I.

As direcções predominantes do vento são: Norte durante os meses mais secos e quentes (Junho a Setembro), Nordeste de Dezembro a Janeiro e 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 que vai de Janeiro a Abril.

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 (ANEXO II), 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.

Deverão portanto ocorrer 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

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

em água, devido ao excesso da precipitação relativamente à evapotranspiração, inicia-se em Novembro e conclui-se em Dezembro.

O clima da zona 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 e moderadamente chuvoso quanto à precipitação (Reis & Gonçalves, 1985).

Considerando a classificação climática de **Thornthwaite**, temos um clima sub-húmido chuvoso, mesotérmico, com grande deficiência de água no Verão e pequena concentração estival da eficiência térmica (C2 B2 s2 a') (Reis & Gonçalves, 1985). Ainda para estes autores e pela classificação de **Köppen** o clima é mesotérmico húmido com o Verão seco e muito quente (Csa).

### **2.1.3 Geomorfologia/Litologia**

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 e a SW e a NE com as herdades do Barrocal e da Alfarrobeira respectivamente.

Aquela herdade insere-se numa zona em 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 é consubstanciada pela presença de uma faixa de corneanas, resultante de metamorfismo de contacto que atravessa a herdade na direcção N-S (Carvalhosa et al., 1969; Aguiar & Grilo, 1975).

#### **2.1.4 Solos**

Em resultado da referida composição litológica, conjugada com os restantes factores de pedogénese, assumem primordial importância, na Herdade da Mitra, os Solos Litólicos Não Húmicos Normais e os Litossolos (Cardoso, 1974). Além disso são ainda referenciados por Aguiar & Grilo (1975) os seguintes solos:

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

O local onde foram instalados os dispositivos experimentais enquadra-se numa área caracterizada pela ocorrência de um complexo de Litossolos de gnaisses 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.

#### **2.1.5 Vegetação**

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

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

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 de montado de sobreiro e azinho com dominância desta última espécie.

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 das seguintes espécies mais importantes: o carrasco (*Quercus coccifera* L.); o zambujeiro (*Olea europaea* var. *sylvestris* Brot.); a murta (*Myrtus communis* L.); o medronheiro (*Arbutus unedo* L.); a aroeira (*Pistacia lentiscus* L.); o lentisco-bastardo (*Phillyrea angustifolia* L.); a madressilva (*Lonicera implexa* Aiton); a esteva (*Cistus ladanifer* L.); o rosmaninho (*Lavandula stoechas* L.); o sargaço (*Cistus salvifolius* L.) e a roselha (*Cistus crispus* L.) (Franco, 1974, 1984; Tutin et al. 1990, 1991, 1992, 1996, 1996<sub>a</sub>).

Em termos fitossociológicos as parcelas experimentais encontram-se bastante descaracterizadas dado que a espécie dominante, o *Cistus salvifolius* L., é considerada como espécie pioneira na colonização e, portanto, indicadora da influência antropogénica em espaços abertos. Nas 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.), e nas espécies herbáceas encontramos como mais significativas, o bolebole-maior (*Briza maxima* L.), a candeia (*Arisarum vulgaris* Targ-Tozz.), a heleborinha (*Epipactis helleborine* (L.) Crantz), o serapião-de-língua-pequena (*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<sup>a</sup> e Recha, 1996)..

De salientar, ainda, nas parcelas experimentais a ocorrência de diversas azinheiras em rebentação indicadoras de um azinal em recuperação, o que é também confirmado pela baixa ocorrência da esteva (*Cistus ladanifer* L.) espécie esta

indicadora, quando em situação de dominância, de solos erosionados e, portanto, sem profundidade suficiente para a regeneração de um azinhal.

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*.

## **2.2 Localização e instalação das parcelas de estudo**

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de duas parcelas experimentais delimitadas na zona SW da Herdade da Mitra (Fig. 2.3), à altitude de 250 m. A primeira, com cerca de 40 x 34 m, doravante designada por parcela I, foi instalada especificamente para estudos de índole hidrológica<sup>2</sup> no âmbito 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).

A segunda, com cerca de 27 x 22 m, doravante designada por parcela II, foi instalada par fins exclusivos deste estudo, no âmbito dos projectos referidos.

As parcelas foram vedadas com uma cerca de arame de 2 m de altura, tendo sido necessária a colocação de rede de galinheiro sobre a rede da cerca, enterrada no solo 0,5 m e acima deste 1,0 m de modo a impedir a entrada de coelhos nas referidas parcelas e a evitar possíveis danos nos instrumentos instalados.

Na parcela I, que inclui três azinheiras isoladas, as quais constituem a base para os estudos de natureza hidrológica, procedeu-se à recolha de amostras da precipitação bruta, da precipitação sob-coberto (*throughfall*) (Fig. 2.4) e do escorrimento ao longo dos troncos (*stemflow*). A recolha de amostras de solução de solo foi efectuada na parcela II, onde apenas existe uma árvore isolada da mesma espécie.

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

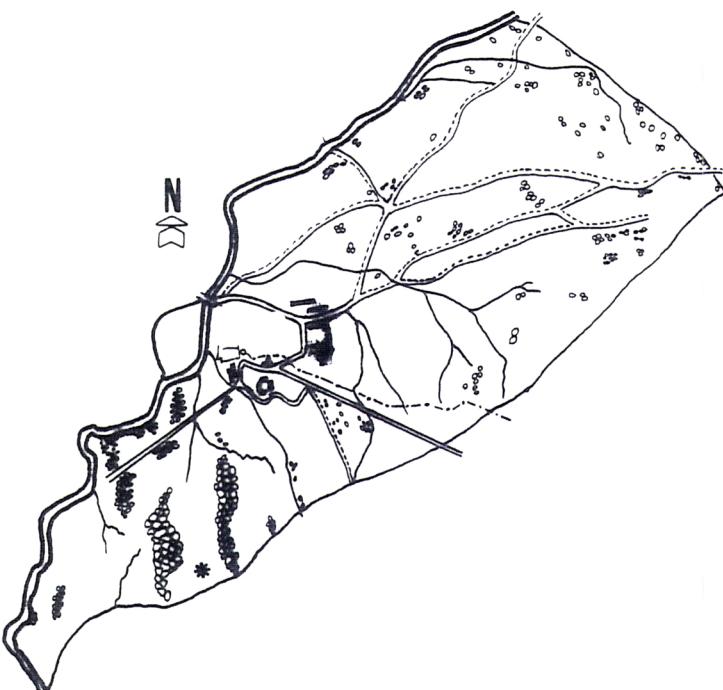


Figura 2.3 - Planta da Herdade da Mitra (C.E.E.M.), onde se sinaliza (●) a localização das parcelas de estudo.



Figura 2.4. – Aspecto geral da parcela I, com destaque para a azinheira onde se centraram os estudos da precipitação sob-coberto.

<sup>2</sup> Estudos a desenvolver pela Eng<sup>a</sup> Teresa Soares David.

## **2.3 Metodologia experimental**

A realização deste estudo foi associada a estudos de natureza hidrológica no âmbito dos projectos já mencionados. Assim a recolha 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 daqueles estudos.

Além disso, os dados respeitantes à precipitação bruta e à precipitação sob coberto apresentados neste trabalho foram obtidos nos dispositivos visando estudos hidrológicos.

### **2.3.1 Precipitação bruta diária**

A precipitação bruta diária foi recolhida através de um funil de aço inoxidável instalado no cimo de uma torre com 12 m de altura localizada na parcela I, acima portanto da copa das árvores. A precipitação era 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.

### **2.3.2 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.

Para processamento analítico recolheram-se alíquotas compósitas resultantes dos dois udómetros referidos, um virado a Sul e outro a Norte.

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

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, tentando-se assim obviar o possível aparecimento de fungos.

### **2.3.3 Precipitação sob-coberto**

A quantidade da precipitação sob-coberto 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 da mesma. Além disso, a precipitação também foi quantificada em áreas fora da projecção da copa da árvore, a 9,1 e a 13,8 m de distância do respectivo tronco. Em cada eixo cardeal foram colocados cinco udómetros, totalizando vinte pontos de amostragem.

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 orifícios foi previamente construída uma vala de drenagem para escoamento da precipitação resultantes do efeito de salpico.

A superfície do solo na zona de colocação do 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.

Os udómetros, compostos por um bidon e um funil em polietileno, tal como os da torre, serviram para quantificar a precipitação acumulada semanal, bem como para recolher as amostras para análise. Dado os udómetros não se encontrarem sob a acção directa das radiações luminosas, procedeu-se apenas, neste caso, à adição semanal de cerca de 1 ml de clorofórmio em cada um dos recipientes, que eram substituídos semanalmente por outros, previamente lavados com água destilada, de modo análogo aos da precipitação bruta.

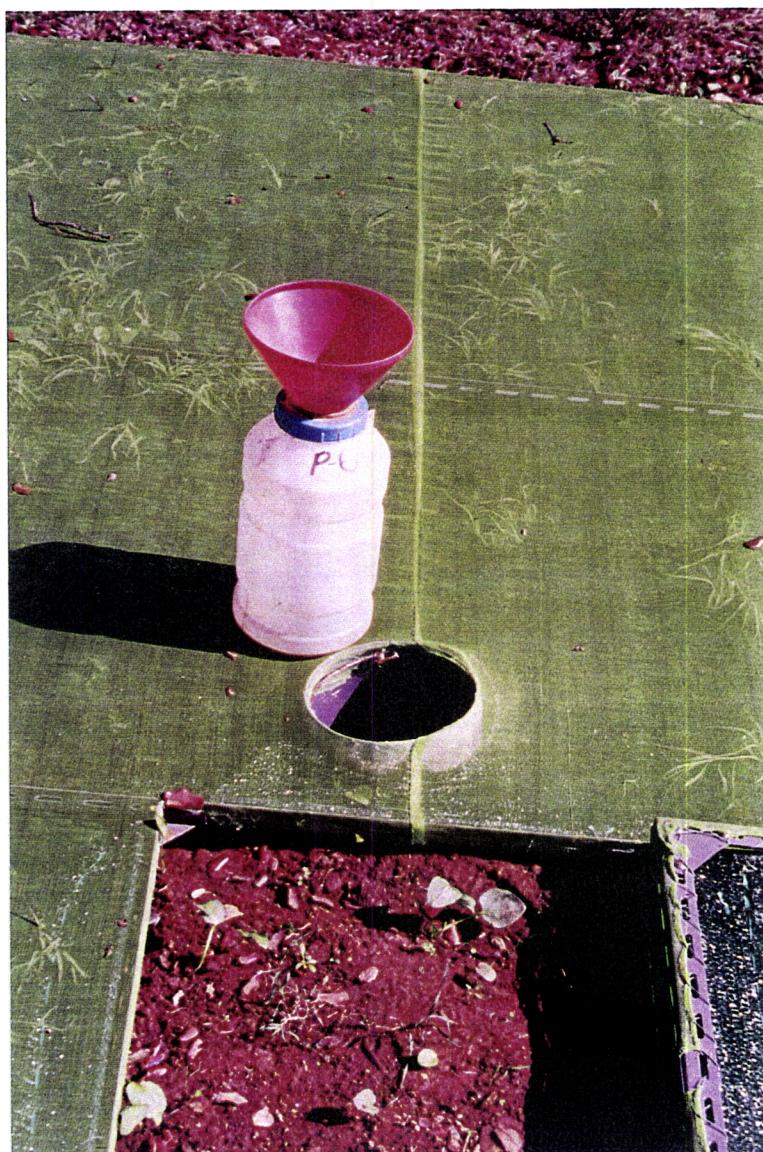


Figura 2.5. – Pormenor dos udómetros da recolha da precipitação sob-coberto

#### 2.3.4 Escorramento ao longo do tronco

A recolha do 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 2.2.4 impossibilitava essa acção. Para o efeito colocou-se à volta do tronco, a uma altura de 50 a 80 cm, uma caleira helicoidal

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

de borracha, que encaminhava a solução de escorrência para um recipiente com a função de reservatório (Fig. 2.6).



**Figura 2.6.** – Aspecto parcial da parcela I, com destaque para o dispositivo de recolha do escorrimento ao longo do tronco.

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

Semanalmente foram quantificados os valores de escorrimento acumulados e recolheram-se as amostras desta solução, após o que se procedeu à lavagem dos

recipientes com água destilada no local de ensaio 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.

### 2.3.5 Solução do solo

A solução do solo foi recolhida por gravidade<sup>3</sup>. Para o efeito 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 na recolha do escorrimento ao longo dos troncos e as outras duas sob a copa da árvore da parcela II.

Cada dispositivo de recolha consistia numa caleira em PVC com 20 cm de diâmetro e 50 cm de comprimento, acoplada a um topo de caleira de algeroz com descarregador, também em PVC, fechado na parte superior com material da mesma origem. A caleira foi inserida no solo, na parede das referidas valas, com inclinação suficiente de modo a facilitar a recolha 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 recolhida pela caleira ligou-se um recipiente em polietileno de 2,5 l de capacidade, nuns casos directamente, noutras por meio de um tubo em PVC com 10 cm de diâmetro, ao descarregador do topo (Fig. 2.7). O recipiente era colocado no fundo da cova envolto em plástico preto com os objectivos já mencionados.

Em cada uma das valas foram instalados seis dispositivos de recolha, três junto à superfície, com a base das caleiras situada a cerca de 15 cm de profundidade, e três a 30 cm de profundidade, o que resultou num total de dezoito dispositivos de recolha, com nove repetições para cada profundidade.

A recolha foi feita semanalmente e os recipientes lavados no local com água destilada, adicionando-lhes de seguida 1 ml de clorofórmio tal como nos recipientes de recolha das outras soluções.

<sup>3</sup> 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)



**Figura 2.7.** – Aspecto parcial da parcela II, com destaque para os dispositivos de recolha de solução de solo por gravidade.

## 2.4 Amostragem

### 2.4.1 Solo

Para determinar a eventual existência de variações horizontais dos valores de pH, da concentração de carbono, de azoto, de bases de troca e de fósforo e potássio extractáveis do solo, em função da distância ao tronco das azinheiras, procedeu-se à colheita de amostras perturbadas, através de uma sonda, após a remoção das camadas orgânicas. Para o efeito, foram escolhidas quatro azinheiras isoladas fora das parcelas de estudo já referidas, mas situadas nas imediações destas e em posição topográfica similar.

As amostragens incidiram sobre quatro níveis de profundidade (0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm), a 0,25 e 1,00 m de distância do tronco das árvores, no limite de projecção da copa (distância variável com a dimensão da copa) e fora da influência desta (a 20 m do tronco), segundo as quatro direcções definidas pelos pontos cardinais.

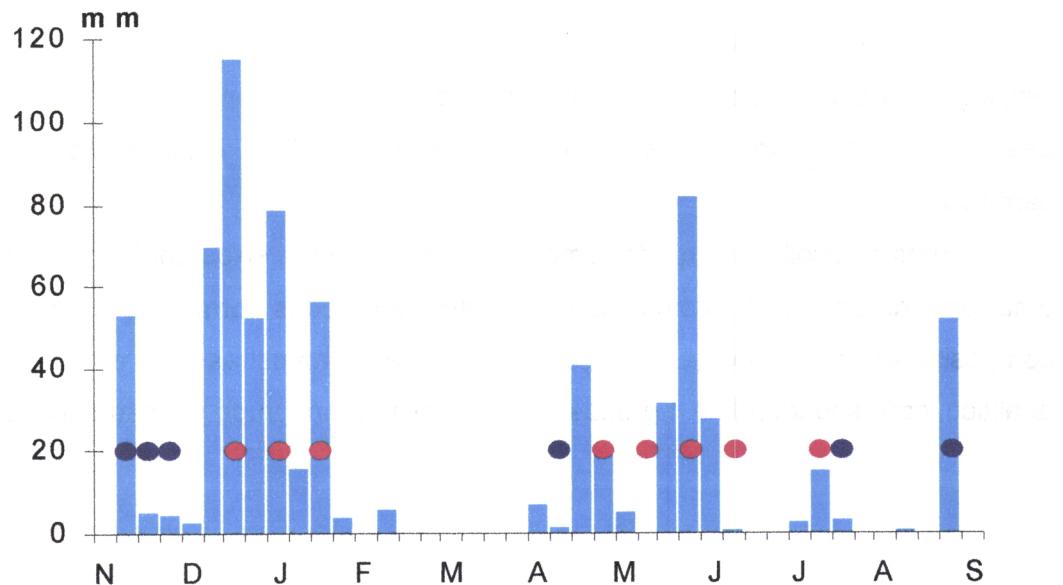
Após a recolha, as quatro amostras dos diferentes eixos cardinais, para cada uma das distâncias e profundidades, foram agrupadas formando uma amostra compósita, resultando desta operação um total de 64 amostras para processamento analítico, correspondendo a 4 grupos de 16 amostras (um grupo por cada árvore).

#### 2.4.2 Precipitação bruta

O número de amostras da precipitação bruta considerado durante o período do presente estudo (desde 15 Outubro de 1996 a 30 de Agosto de 1997) foi de 14. Destas, 6 correspondem a amostras simples recolhidas em períodos semanais, e 8 correspondem a amostras compósitas, referentes à precipitação recolhida em períodos quinzenais, nos dois udómetros da torre. O facto de se ter optado pela realização de tão elevado número de amostras individuais, deveu-se à elevada irregularidade da precipitação do referido ano hidrológico, que muitas vezes não permitiu a formação de amostras compósitas de duas semanas consecutivas de precipitação (Fig. 2.8). No entanto, com este número de amostras foi possível cobrir 23 dos 51 períodos semanais que durou o presente estudo.

Após a quantificação semanal da precipitação bruta acumulada nos udómetros da torre recolheu-se uma amostra da solução correspondente, resultante da mistura (em quantidades proporcionais aos volumes de precipitação medidos) de subamostras recolhidas em cada um dos udómetros, num frasco de polietileno de 0,33 l, previamente lavado com ácido nítrico e água destilada.

As amostras recolhidas semanalmente foram imediatamente congeladas a uma temperatura de aproximadamente -18 ° C, até à sua preparação para análise.



**Figura 2.8 - Esquema de amostragem da precipitação bruta, durante período de Novembro de 1996 a Setembro de 1997 (● amostras semanais e ● amostras quinzenais).**

### **2.4.3 Precipitação sob-coberto**

O total de amostras de precipitação sob-coberto submetidas a análise ascendeu a 280, das quais 120 incidiram sobre períodos de colheita semanal e 160 sobre períodos de colheita quinzenal (junção de dois períodos de colheita semanal consecutivos), ocorridos durante o tempo de duração do presente estudo.

Semanalmente e após a quantificação da precipitação acumulada colheu-se uma amostra de cada um dos udómetros considerados, num frasco de polietileno de 0,33 l (previamente lavado com ácido nítrico e enxaguado abundantemente com água destilada), amostras essas que foram imediatamente congeladas a uma temperatura de aproximadamente -18 ° C até à sua preparação para análise.

#### **2.4.4 Escorramento ao longo do tronco**

Esta componente do estudo contribuiu com 12 amostras para análise, das quais 4 foram amostras resultantes de colheitas semanais e 8 de colheitas quinzenais, efectuadas durante o período de estudo. O menor número de amostras individuais aqui registado, em comparação com o referido para a precipitação bruta, deveu-se para além das particularidades apresentadas pelo ano hidrológico em que decorreram as colheitas (15 de Outubro 1996 a Agosto de 1997), já amplamente referidas, ao facto de em duas das semanas isoladas em que ocorreu precipitação, não se ter formado solução de escorramento ao longo do tronco, num caso devido a esta ter sido insuficiente para que tal acontecesse e noutro caso por o reservatório ter sido tombado pela força do vento. Por este motivo, as amostras de escorramento ao longo do tronco apenas cobrem 21 dos 51 períodos semanais em que se desenvolveu este estudo.

Também neste caso, após a quantificação do conteúdo dos reservatórios procedeu-se à colheita de uma amostra em cada um dos períodos de colheita, colocada num recipiente em polietileno de 0,33 l (previamente lavado com ácido nítrico e enxaguado abundantemente com água destilada), que foi de seguida congelada até à preparação das amostras para análise.

#### **2.4.5 Solução do solo**

As amostras de solução de solo foram recolhidas semanalmente, sendo mantidas em recipientes de 0,33 l em polietileno e sujeitas a congelação à temperatura de aproximadamente -18 ° C até à sua preparação para análise.

Devido ao baixo volume da grande maioria das amostras recolhidas semanalmente, estas foram posteriormente misturadas de forma a constituir amostras compósitas :

- Quinzenais - Juntando o conteúdo do mesmo recipiente de duas semanas consecutivas;

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

- Mensais - Juntando o conteúdo do mesmo recipiente de quatro semanas consecutivas.

As colheitas das amostras de solução de solo foram efectuadas apenas durante o período de Abril a Junho de 1997, pois a instalação dos sistemas de recolha desta solução apenas ficaram operacionais em finais de Fevereiro desse ano e, além disso, desde aí até meados de Abril não ocorreu qualquer precipitação.

## **2.5 Metodologia laboratorial**

### **2.5.1 Preparação de amostras para análise**

#### **2.5.1.1 Camadas minerais do solo**

As amostras das camadas minerais do solo recolhidas por sondagem foram secas numa estufa a 45 ° C durante 72 horas, de forma a perderem o excesso de humidade que pudessem conter, após o que foram passadas por um crivo com malha de 2 mm de diâmetro, a fim de separar os elementos grosseiros da terra 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 recolhidas sub-amostras destinadas ao respectivo processamento analítico.

### **2.5.1.2 Soluções**

Imediatamente antes do processamento analítico, as amostras das soluções correspondentes à precipitação bruta, à precipitação sob-coberto, ao escorramento ao longo do tronco e à solução do solo foram descongeladas e rapidamente 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. Antes de se proceder à filtração, quando necessário, formaram-se as amostras compósitas por mistura, em quantidades proporcionais aos volumes de solução quantificados, das alíquotas das amostras simples de duas semanas consecutivas.

### **2.5.2 Metodologia analítica**

#### **2.5.2.1 Camadas minerais do solo**

Com base na terra fina das amostras recolhidas por sondagem das camadas minerais do solo adjacentes a quatro azinheiras isoladas, escolhidas exclusivamente para o efeito (nas imediações das parcelas de estudo), foram determinados os seguintes parâmetros:

- pH - o seu valor foi determinado em suspensões do solo em água e em solução de cloreto de potássio 1 M (suspensões 1:2,5) pelo método electrométrico, utilizando um potenciômetro digital modelo 632 da marca *Metrohm*, com precisão até 0,001;
- Carbono orgânico total - determinado através da medição do volume de dióxido de carbono libertado pela combustão a 1200° C de um grama de amostra, realizada num aparelho da marca *Ströhlein Instruments*;

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

- **Azoto (Kjeldahl)** - pelo sistema de digestão *Kjeltec Auto 1030 Analyser*, baseado no método de Kjeldahl (Bremner et al., 1982);
- **Bases de troca (cálcio, magnésio, potássio e sódio)** - foram extraídas a partir de uma amostra de 5 g com 50 ml de uma solução de acetato de amónio 1 M a pH 7 (com um agitador rotativo, durante uma hora) e foram quantificadas no extracto obtido (depois de filtrado) por espectrofotometria de absorção atómica (Lucas & Sequeira, 1976), utilizando um espectrofotómetro modelo 2380 da marca *Perkin-Elmer*;
- **Fósforo e potássio extractáveis** - extraídos a partir de uma amostra de 5 g, com 100 ml de uma solução de lactato de amónio e ácido acético a pH 3,7 - 3,8 (método Egner-Riehm), tendo sido esses elementos quantificados no extracto obtido (após filtração), respectivamente, por colorimetria - utilizando um aparelho modelo *SP8-400 UV/VIS* da marca *Pye Unicam*, regulado para o comprimento de onda de 882 nm -, segundo o método de Murphy & Riley (1962) adaptado por Watanabe & Olsen (1965), e por espectrofotometria de absorção atómica (Lucas & Sequeira, 1976).

### **2.5.2.2 Soluções**

- **pH** - directamente determinado nas soluções, pelo método electrométrico, utilizando um potenciômetro digital da marca *Metrohm*, modelo 691, com precisão até 0,01;
- **Carbono orgânico** - determinou-se pelo método de digestão por via húmida, sobre amostras da solução de volume variável em função do teor de carbono previsível (50 ou 100 ml para as precipitações, 25 ou mesmo 10 ml para a solução do solo). Após a evaporação da solução em banho de areia procedeu-se à digestão do carbono orgânico contido na amostra, através da sua oxidação com um excesso de dicromato de potássio em meio sulfúrico, durante 10 minutos, a uma temperatura de 160° C (De Leenheer & Van Hove, 1958);

- **Fósforo** - medido directamente nas soluções, utilizando o método colorimétrico de Murphy & Riley (1962) adaptado por Watanabe & Olsen (1965);
- **Catiões principais (cálcio, magnésio, potássio e sódio)** - determinados directamente nas soluções (ou nas suas diluições em água destilada), por espectrofotometria de absorção atómica (Lucas & Sequeira, 1976);
- **Aniões ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ )** - foram também determinados directamente nas soluções (ou nestas diluídas em água destilada e desmineralizada) por cromatografia iônica (Tabatabai & Basta, 1991), tendo sido utilizado um cromatógrafo modelo 690 da marca *Metrohm*;
- **N- $\text{NH}_4^+$**  - determinado por colorimetria, através do método do fenol-nitroprussiato, utilizando o espectrofotómetro modelo *SP8-400 UV/VIS* da marca *Pye Unicam* regulado para um comprimento de onda de 636 nm (Dorich & Nelson, 1983).

## **2.6 Métodos estatísticos e cálculos**

### **2.6.1 Precipitação bruta diária**

Os dados referentes à precipitação acima do copado<sup>4</sup>, encontravam-se sob a forma de valores diários pelo que tiveram de ser convertidos em valores acumulados, semanais ou quinzenais, consoante o caso, de maneira a permitirem a comparação directa com as amostras correspondentes ao gotejo e ao escorrimento pelo tronco.

---

<sup>4</sup> Dados cedidos pela Eng. Teresa Soares David.

## 2.6.2 Camadas minerais do solo

Com o objectivo de comparar os valores médios dos diferentes parâmetros químicos determinados para o solo, em função da profundidade e da distância ao tronco da árvore, testou-se em primeiro lugar a existência ou não de homogeneidade de variâncias nas amostras<sup>5</sup>, para  $\alpha < 0.05$  (Sokal & Rohlf, 1995) através do programa *HOMOV, Version 2.1, Applied Biostatistics*, após o que se procedeu à transformação dos dados das amostras por intermédio da família de transformações de **Box-Cox** (Sokal & Rohlf, 1995), utilizando o valor de  $\lambda$  sugerido pelo programa, quando tal era necessário e possível.

Com os dados transformados efectuou-se de seguida, para cada um dos parâmetros em função da profundidade e em função da distância ao tronco, **análises de variância (ANOVA's) de classificação simples**, seguidas, sempre que justificado, por testes múltiplos de **Student-Newman-Keuls** (Sokal & Rohlf, 1995).

Em alguns casos particulares, quando os dados não eram susceptíveis de serem homogeneizados pela transformação de Box-Cox, optou-se pela comparação entre os valores médios dos parâmetros, através de testes não paramétricos de **Kruskal-Wallis** (Sokal & Rohlf, 1995) seguidos de testes de comparação múltipla específicos (Sprent, 1993).

A nossa hipótese nula (**não existem diferenças significativas entre os valores médios**) foi rejeitada sempre que se verificava  $p \leq 0.05$  (Sokal & Rohlf, 1995).

Todas as comparações foram realizadas através do programa **STATGRAPHICS** da *Statistical Graphics Corporation*, excepto o teste múltiplo específico para **Kruskal-Wallis**, que foi executado no programa *Microsoft Excel 5.0* através da formula referida por Sprent (1993).

---

<sup>5</sup> O termo *amostra* é aqui utilizado no sentido estatístico, ou seja no de amostra populacional.

### **2.6.3 Precipitação bruta, precipitação sob-coberto e escorrimento ao longo do tronco**

As amostras de solução de precipitação sob-coberto foram divididas em dois grupos. No primeiro incluíram-se as amostras correspondentes às soluções recolhidas nos udómetros situados nas três posições mais próximas do tronco para cada um dos eixos, ou seja, aqueles que de facto se encontravam sob a copa da azinheira, fazendo corresponder a este grupo a **precipitação sob coberto** propriamente dita “throughfall”, enquanto no segundo se incluíram as amostras correspondentes às soluções recolhidas nos dois udómetros, situados nas extremidades externas de cada eixo, designado este grupo como **precipitação fora da copa**.

Discriminou-se a estatística descritiva (Sokal & Rohlf, 1995; Dias 1996) a partir de todas as amostras efectivamente colhidas.

Compararam-se os valores médios dos diferentes parâmetros, em função do tipo de solução, da distância ao tronco e dos eixos cardinais, por meio de **análises de variância (ANOVA's) de classificação simples**, tendo-se previamente testado a homogeneidade de variâncias das amostras, e procedido também neste caso, à transformação dos dados sempre que necessário e possível através da transformação de Box-Cox. Sempre que a nossa hipótese nula (**não existem diferenças significativas entre os valores médios**) foi rejeitada ( $p \leq 0.05$ ) realizou-se o teste de comparação múltipla de médias de **Student-Newman-Keuls** (Sokal & Rohlf, 1995). Na comparação entre os valores médios em função do tipo de solução, em relação à precipitação sob-coberto e à precipitação fora da copa, calculou-se para cada período de colheita a média das amostras respectivas, de modo a tornar similar o número de amostras comparadas.

Do mesmo modo que para as amostras de solo, quando os dados não eram susceptíveis de serem homogeneizados pela transformação de Box-Cox, optou-se pela comparação entre os valores médios dos parâmetros, através de testes não paramétricos de **Kruskal-Wallis** (Sokal & Rohlf, 1995) seguidos de testes de comparação múltipla específicos (Sprent, 1993)

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

O cálculo dos valores de medida de localização e dispersão (estatística descritiva) bem como as comparações foram realizadas através do programa STATGRAPHICS da Statistical Graphics Corporation excepto o teste múltiplo específico para Kruskal-Wallis, que foi executado no programa Microsoft Excel 5.0 através da formula referida por Sprent (1993).

Através do programa de estatística acima referido calcularam-se as matrizes de correlação (Pearson product-moment correlations) entre os parâmetros quantificados e os respectivos valores de precipitação bem como entre os diferentes parâmetros dentro de cada tipo de precipitação. Considerou-se a existência de correlação sempre que a probabilidade associada ao coeficiente de correlação era inferior a 5% (Sokal & Rohlf, 1995).

A quantidade dos inputs de elementos químicos através das soluções foi estimada, para o período do estudo, através dos somatórios dos produtos das concentrações daqueles elementos recolhidas nos diferentes períodos pelos seus volumes<sup>6</sup> (expressos em l m<sup>-2</sup>), apresentando o resultado final em g m<sup>-2</sup> para a precipitação bruta e em g m<sup>-2</sup> de copa, para a precipitação sob-coberto e para o escorrimento ao longo dos troncos.

No caso do hidrogénio usou-se o mesmo processo, determinando-se a sua concentração a partir dos valores do pH, tal como sugerido por diversos autores (Haines et al., 1982; Gower et al., 1995; Hansen et al., 1995).

### **2.6.4 Solução do solo**

Na comparação dos valores médios dos parâmetros determinados para a solução de solo, dado que esta foi efectuada apenas entre duas amostras, ou seja entre o total de amostras recolhidas á superfície e o total de amostras recolhidas a 30 cm da superfície, utilizou-se o teste t de Student (Sokal & Rohlf, 1995) dado ser este o teste mais apropriado quando o teste de hipóteses envolve apenas duas amostras (Dias, 1996)

---

<sup>6</sup> Os dados referentes aos volumes da precipitação bruta e da precipitação sob- coberto, foram cedidos pela Eng<sup>a</sup> Teresa Soares David.

Antes da realização dos testes t de Student, procedeu-se à confirmação de existência de homogeneidade de variâncias das amostras bem como às transformações necessárias segundo a metodologia anteriormente referida.

Calcularam-se também os valores de localização e de dispersão das duas amostras, através do programa STATGRAPHICS da Statistical Graphics Corporation, igualmente utilizado nos testes t de Student.



## **3 RESULTADOS**

### **3.1 Caracterização química do solo**

Analisando os parâmetros químicos das amostras de solo recolhidas a um metro do tronco das árvores, a diferentes profundidades, constata-se que os teores médios de carbono, azoto, e fósforo e potássio extractáveis, apresentaram um padrão decrescente com a profundidade, sendo estatisticamente significativas as diferenças encontradas entre os valores médios dos teores das diferentes profundidades para o carbono, para o azoto e para o fósforo (Quadro 3.1).

Das bases de troca, a única que apresentou o padrão anterior foi o potássio, enquanto o cálcio, o magnésio e o sódio apresentaram comportamentos completamente distintos. O teor médio do primeiro decresceu até aos 20 cm, após o que voltou subir; o teor médio do segundo decresceu até aos 10 cm e depois sofreu um acréscimo até aos 30 cm; o teor médio do último manteve-se constante nas duas primeiras profundidades, a que se seguiu uma ligeira subida nos 10-20 cm e a quase duplicação do seu valor na última profundidade.

O pH apresentou dois comportamentos distintos consoante foi medido em água ou em cloreto de potássio. No primeiro caso, apresentou valores praticamente da mesma ordem de grandeza ao longo das quatro profundidades consideradas, enquanto no segundo caso, foi patente um decréscimo do seu valor com a profundidade.

Dos dados da camada superficial do solo (0-5 cm), ficou patente a existência de diferenças significativas para algumas das características químicas do solo em função da distância ao tronco da árvore (Quadro 3.2). Convém, no entanto, ter em atenção que estes valores têm um carácter meramente indicativo, uma vez que a malha de amostragem não foi suficientemente apertada de modo a permitir conclusões com grande segurança sobre os padrões de variação.

**Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia***

Prof. (cm)	Bases de troca				Extractáveis				C .....g kg <sup>-1</sup> .....	N .....g kg <sup>-1</sup> .....
	pH (H <sub>2</sub> O)	(KCl)	Ca .....cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....	Mg .....cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....	Na .....cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....	K .....cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....	K .....g kg <sup>-1</sup> .....	P .....g kg <sup>-1</sup> .....		
(0-5)	5,76	4,63	4,37	1,35	0,17	0,37	124,11	7,88 a	20,10 a	1,56 a
(5-10)	5,54	4,21	2,78	1,15	0,17	0,22	73,47	3,86 ab	10,55 b	0,87 b
(10-20)	5,80	4,23	2,55	1,43	0,18	0,17	60,76	1,85 bc	6,65 c	0,53 c
(20-30)	5,81	3,95	2,91	2,04	0,21	0,16	56,09	0,89 c	4,68 c	0,40 c
	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	p<0,01	p<0,001	p<0,001

**Quadro 3.1** - Valores médios do pH e das concentrações das bases de troca, do potássio e do fósforo extractáveis, do carbono e do azoto determinadas a partir de amostras (n=4) recolhidas a quatro níveis de profundidade e à distância de um metro do tronco das árvores. Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas pelo teste de **Student-Newman-Keuls**.

Os valores de pH da camada superficial do solo (0-5 cm), tanto os determinados em água como os determinados em KCl 1M, não apresentaram qualquer variação significativa com a distância ao tronco das árvores, nem com o facto de as amostras terem sido recolhidas dentro ou fora da área influenciada pela copa destas.

Dist. ao tronco	Bases de troca				Extractáveis				C .....g kg <sup>-1</sup> .....	N .....g kg <sup>-1</sup> .....
	pH (H <sub>2</sub> O)	(KCl)	Ca .....cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....	Mg .....cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....	Na .....cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....	K .....cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....	K .....g kg <sup>-1</sup> .....	P .....g kg <sup>-1</sup> .....		
0,25 m	6,00	4,88	4,76	1,27	0,19	0,54 a	217,51 a	7,03	17,15 ab	1,35 a
1,0 m	5,76	4,63	4,37	1,35	0,17	0,37 a	124,11 ab	7,88	20,10 a	1,56 a
L.P.C.	6,08	4,82	3,65	1,28	0,17	0,26 a	102,01 b	4,76	12,45 b	1,07 a
F.P.C.	6,07	4,58	2,97	1,20	0,17	0,18 b	63,51 c	3,14	8,80 c	0,80 b
	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	p < 0,05	p < 0,001	n. s.	p < 0,001	p < 0,01

**Quadro 3.2** - Valores médios do pH e da concentração das bases de troca, do potássio e do fósforo extractáveis, do carbono e do azoto, determinados a partir de amostras (n=4) recolhidas, nos 5 cm superficiais do solo, a 0,25 m e 1,0 m do tronco, no limite da projecção copa (L.P.C.) e fora do limite da projecção da copa (F.P.C.). Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas pelo teste de **Student-Newman-Keuls**.

Os teores de magnésio e de sódio de troca apresentaram um padrão semelhante ao referido para os valores do pH, denotando uma elevada homogeneidade. Os teores de cálcio de troca, não obstante decrescerem das áreas junto ao tronco das árvores (a 0,25 m) para aquelas fora da influência da copa destas, também não revelaram variações significativas causadas pela posição do solo relativamente à árvore.

O potássio de troca, de modo análogo ao cálcio, apresentou valores máximos junto ao tronco das árvores (a 0,25 m), os quais decresceram sucessivamente com o aumento da distância aquele, atingindo valores mínimos nas áreas fora da influência da copa das árvores. Nestas áreas, os valores do potássio de troca foram significativamente menores do que os determinados naquelas sob a influência das copas. Padrão semelhante foi encontrado para o potássio extractável, sendo a diferenciação mais nítida do que a encontrada para o de troca, uma vez que o teor determinado nas áreas correspondentes ao limite da projecção das copas foi significativamente menor do que o determinado naquelas mais próximas do tronco (a 0,25 e a 1,0 metros).

O fósforo extractável atingiu teores mais elevados nas áreas sob a copa do que naquelas fora da influência da copa das árvores. Todavia, tal como foi referido para o cálcio, não se encontraram diferenças significativas.

Os teores de carbono e de azoto foram significativamente mais elevados nas áreas sob as copas das árvores do que naquelas sem influência destas. Além disso, aqueles teores manifestaram tendência para decrescerem das áreas mais próximas do tronco para aquelas correspondentes ao limite da projecção da copa das árvores; no entanto essa tendência não se expressou por diferenças significativas.

0,25 m	1,0 m	L. P. C.	F. P. C.
12,7	12,8	11,6	11,0

**Quadro 3.3** - Valores da razão C/N, calculados a partir dos teores de carbono e azoto, nos 5 cm superficiais do solo, a 0,25 m e 1,0 m do tronco, no limite da projecção copa (L.P.C.) e fora do limite da projecção da copa (F.P.C.).

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

Os valores da razão C/N (Quadro 3.3) seguiram o padrão referido para os teores de carbono e azoto, isto é, decresceram com o aumento da distância ao tronco das árvores, atingindo os menores valores nas áreas fora da influência do coberto arbóreo.

## 3.2 Soluções

### 3.2.1 Precipitação bruta

Os parâmetros químicos determinados na precipitação bruta apresentaram um forte grau de variabilidade conforme se pode constatar através dos coeficientes de variação (C.V.) determinados para cada um deles (Quadro 3.4), cujo valor foi superior à respectiva média em metade desses parâmetros. Destacam-se pelo seu valor o  $\text{NH}_4^+$ , cuja concentração variou desde um mínimo vestigial até um máximo de 340,98  $\mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ , e o  $\text{PO}_4^{3-}$  cuja a concentração a variou entre 0,87 e 129,79  $\mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ . De realçar o facto de que foram os parâmetros com C.V. acima dos cem por cento, aqueles cuja mediana mais se afastou da média, e portanto aqueles em que a maioria dos valores de concentração se situou abaixo do valor médio.

	pH	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
$\mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$										
Média	6,16	65,65	30,27	78,79	15,80	55,70	18,44	78,05	25,13	57,47
Mediana	5,79	24,70	12,75	67,42	5,63	3,46	6,34	61,36	28,70	38,18
Moda	5,46	6,99	12,34	32,62	5,37	0,00	3,00	52,10	9,55	28,36
Variância	0,80	5315,78	1773,63	2031,06	352,57	12203,20	1307,51	2716,44	366,20	2901,54
Desvio pad.	0,89	72,91	42,11	45,07	18,78	110,47	36,16	52,12	19,14	53,87
n	14	14	14	14	14	14	14	14	9	14
Erro pad.	0,24	19,49	11,26	12,04	5,02	29,52	9,66	13,93	6,38	14,40
Mínimo	5,19	6,99	7,41	21,75	2,30	0,00	0,87	15,09	1,39	3,23
Máximo	7,73	198,10	168,68	160,94	62,66	340,98	129,79	188,11	51,59	188,99
C. V.	14,52	111,05	139,14	57,20	118,82	198,34	196,05	66,78	76,15	93,73

**Quadro 3.4** - Estatística descritiva relativa aos valores de pH e às concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , azoto mineral ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ),  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  na precipitação bruta recolhida durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.

O valor do pH e os correspondentes à concentração de  $\text{Na}^+$ , foram por sua vez aqueles cujo C.V. indicou menor variabilidade. Com efeito, os valores do pH variaram entre 5,19 e 7,73, enquanto a concentração de sódio variou de 21,75 a 160,94  $\mu\text{mol l}^{-1}$ .<sup>1</sup> Também neste caso os valores da mediana foram mais próximos do valor da média.

A variação ao longo do tempo, dos parâmetros químicos na precipitação bruta, obedeceu a padrões diversificados consoante o parâmetro considerado.

No pH verificou-se um comportamento irregular, uma vez que datas de amostragem com valores acima de 6,5, tanto corresponderam a períodos de forte ocorrência de precipitação como a períodos de precipitação reduzida (Fig. 3.1). Esta variação parece ser corroborada pelo facto de não se ter encontrado qualquer tipo de correlação entre o valor de pH e a quantidade de precipitação bruta.

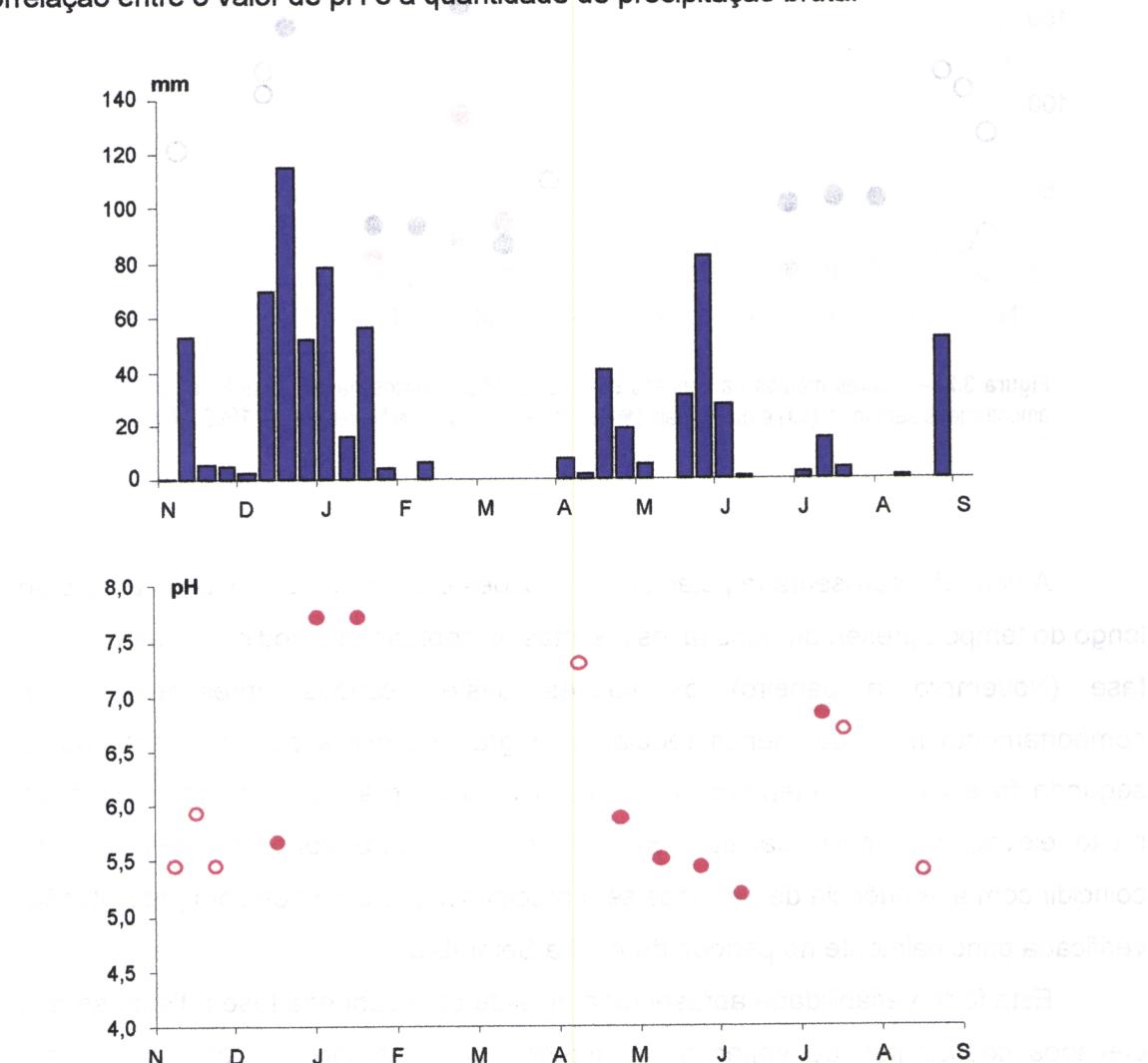
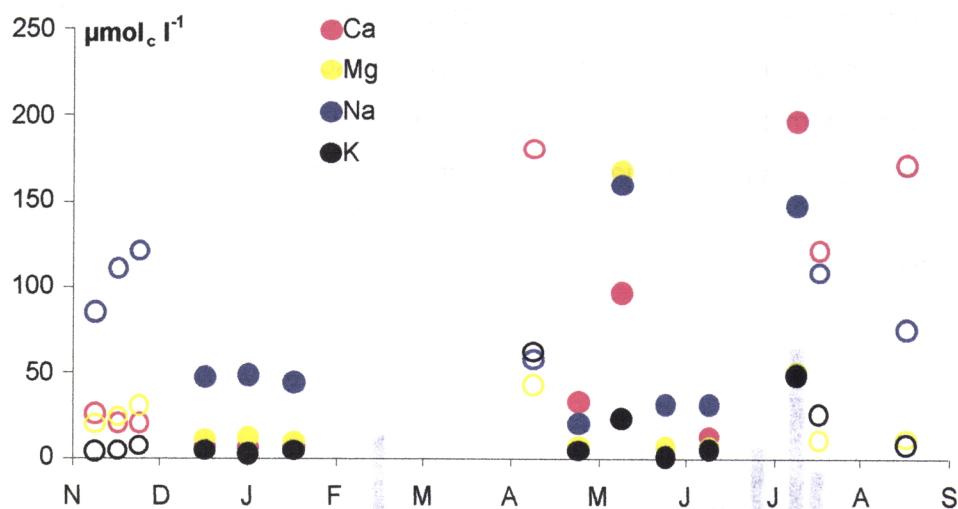


Figura 3.1. – Valores semanais da precipitação e valores médios do pH na precipitação bruta em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

Os catiões básicos apresentaram padrões de variação ao longo do tempo muito semelhantes entre si durante o período de estudo (Fig. 3.2); no entanto apenas se verificaram correlações significativas (Quadro 3.6) entre a concentração de cálcio e a de potássio ( $0,8565$ ;  $p<0,0001$ ) e entre a concentração de magnésio e a de sódio ( $0,6839$ ;  $p<0,007$ ). Também quanto à existência de correlações entre a quantidade de precipitação bruta e as concentrações destes catiões (Quadro 3.5), apenas no caso do sódio se obteve uma correlação de sentido negativo ( $-0,625$ ;  $p<0,169$ ).

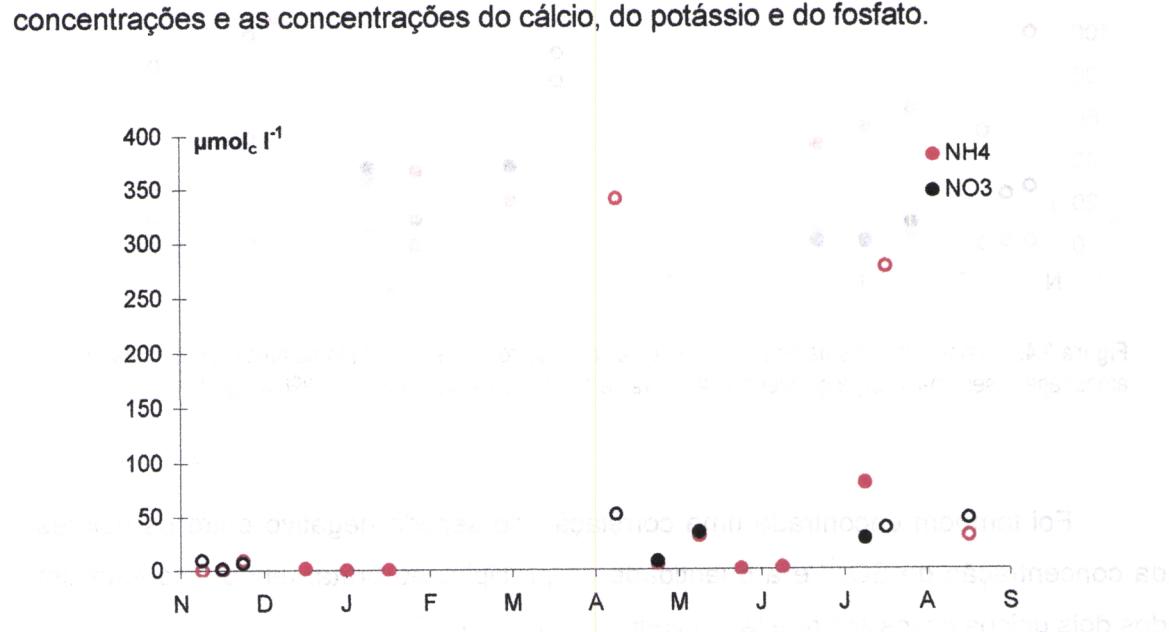


**Figura 3.2.** – Valores médios da concentração dos catiões básicos na precipitação bruta em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.

A variação apresentada pelas concentrações dos diferentes catiões básicos ao longo do tempo apresentou duas fases distintas, exceptuando o sódio. Numa primeira fase (Novembro a Janeiro) os valores destes catiões apresentaram um comportamento mais ou menos regular sem grandes oscilações, enquanto numa segunda fase (Abril a Setembro) se verificou uma alternância entre concentrações muito elevadas e muito baixas. Esta alternância entre concentrações pareceu coincidir com a sequência de períodos sem precipitação e períodos com precipitação, verificada principalmente no período de Abril a Setembro.

Esta forte variabilidade apresentada durante esta segunda fase reflecte-se nos elevados coeficientes de variação, já anteriormente referidos, apresentados para estes parâmetros.

A concentração de azoto mineral, quer na sua forma amoniacal, quer na sua forma nítrica, apresentou uma forte variabilidade ao longo do tempo, mormente no caso do amónio que, no período de Abril a Setembro, tanto apresentou valores vestigiais como valores muito superiores à média (Fig. 3.3). A semelhança de comportamento entre o amónio e o nitrato é corroborada pelo elevado coeficiente de correlação encontrado entre a concentração destes dois iões ( $0,7369$ ;  $p<0,0026$ ), o que indica um mesmo sentido de variação entre eles (Quadro 3.5). Além desta correlação, ambos os iões manifestaram correlações fortes entre as suas concentrações e as concentrações do cálcio, do potássio e do fosfato.



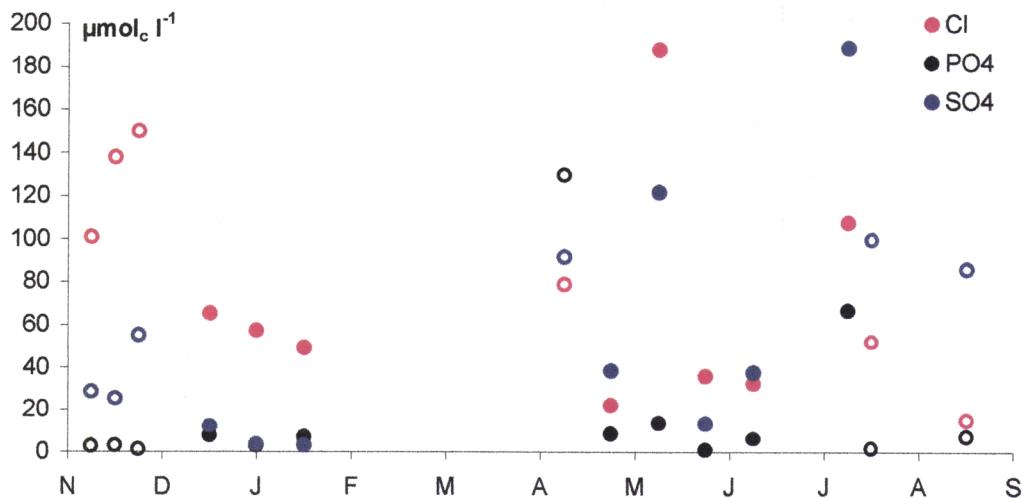
**Figura 3.3.** – Valores médios da concentração do amónio e da do nitrato na precipitação bruta em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.

Ao contrário do que se verificou para os catiões básicos, os aniónes  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  apresentaram grande variabilidade ao longo de todo o período de estudo, não se verificando, de um modo geral, a existência de duas fases distintas como as evidenciadas pelos catiões.

As concentrações de fosfato, cloreto e sulfato também se caracterizaram por um certo paralelismo entre os seus padrões de variação ao longo do tempo (Fig. 3.4), não se tendo encontrado, no entanto, qualquer tipo de correlação entre os valores das concentrações destes aniónes. O fosfato e o sulfato manifestaram correlações positivas entre as suas concentrações e as concentrações do cálcio, do potássio e do nitrato. O fosfato também apresentou correlação positiva entre a sua concentração e

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

a do amónio, enquanto o sulfato evidenciou correlação positiva entre a sua concentração e a do sódio (Quadro 3.6).



**Figura 3.4.** – Valores médios da concentração do cloreto, do fosfato e do sulfato na precipitação bruta em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.

Foi também encontrada uma correlação de sentido negativo entre os valores da concentração de  $\text{SO}_4^{2-}$  e a quantidade de precipitação bruta, tendo sido este um dos dois únicos casos em que tal se verificou (Quadro 3.5).

	pH	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
Pb	0,0677	-0,5092	-0,4052	<b>-0,625</b>	-0,5002	-0,4391	-0,307	-0,4693	-0,1672	-0,6123
	p<0,8182	p<0,063	p<0,1506	<b>p&lt;0,0169</b>	p<0,0685	p<0,1162	p<0,2857	p<0,0904	p<0,6673	<b>p&lt;0,0199</b>

**Quadro 3.5** - Coeficientes de correlação e respectivas probabilidades associadas, entre a quantidade de precipitação bruta (Pb) e os valores de pH, e da concentração de catiões e anões.

Ainda no que respeita à existência de correlações entre os valores dos diferentes parâmetros determinados é de realçar a inexistência de qualquer tipo de correlação entre os valores de pH e as concentrações dos diferentes iões

	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>
<b>pH</b>	0,2054 p<0,4812	-0,1052 p<0,7203	-0,0709 p<0,8098	0,4 p<0,1564	0,4229 p<0,1319	0,43 p<0,1249	-0,1223 p<0,6771	0,1222 p<0,677	0,0529 p<0,8574
<b>Ca<sup>2+</sup></b>		0,3148 p<0,2730	0,461 p<0,0971	<b>0,8565</b> <b>p&lt;0,0001</b>	<b>0,6634</b> <b>p&lt;0,0097</b>	<b>0,6778</b> <b>p&lt;0,0077</b>	0,0577 p<0,8448	<b>0,9252</b> <b>p&lt;0,000</b>	<b>0,8737</b> <b>p&lt;0,0000</b>
<b>Mg<sup>2+</sup></b>			<b>0,6839</b> <b>p&lt;0,0070</b>	0,3733 p<0,1887	0,0773 p<0,7928	0,2089 p<0,4736	<b>0,748</b> <b>p&lt;0,0021</b>	0,4001 p<0,156	0,5388 p<0,0468
<b>Na<sup>+</sup></b>				0,4013 p<0,1550	0,1488 p<0,6116	0,0971 p<0,7413	<b>0,8163</b> <b>p&lt;0,0004</b>	0,4303 p<0,124	<b>0,7128</b> <b>p&lt;0,0042</b>
<b>K<sup>+</sup></b>					<b>0,8066</b> <b>p&lt;0,0005</b>	<b>0,9073</b> <b>p&lt;0,0000</b>	0,2148 p<0,4608	<b>0,775</b> <b>p&lt;0,001</b>	<b>0,7844</b> <b>p&lt;0,0009</b>
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>						<b>0,7009</b> <b>p&lt;0,0052</b>	-0,037 p<0,9001	<b>0,7369</b> <b>p&lt;0,002</b>	0,4731 p<0,0875
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>							0,0927 p<0,7526	<b>0,5872</b> <b>p&lt;0,027</b>	0,5112 p<0,0617
<b>Cl<sup>-</sup></b>								0,0902 p<0,759	0,3405 p<0,2335
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>									<b>0,7533</b> <b>p&lt;0,0019</b>

**Quadro 3.6** - Coeficientes de correlação e respectivas probabilidades associadas, entre os valores dos diferentes parâmetros determinados na precipitação bruta.

O pH da precipitação bruta atingiu neste estudo um valor médio de 6,16, valor este bastante próximo da neutralidade e indicador da baixa acidez das precipitações do local.

O sódio foi o catião básico que apresentou concentração mais elevada (78,79  $\mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$ ), seguido do cálcio (65,65  $\mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$ ), do magnésio (30,27  $\mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$ ) e do potássio (15,80  $\mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$ ).

Das duas fracções de azoto mineral determinadas, o amónio e o nitrato, o primeiro apresentou uma concentração mais elevada (55,7  $\mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$ ) do que o segundo (25,13  $\mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$ ).

Por sua vez, o cloreto foi o anião com concentração mais elevada (78,05  $\mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$ ), em segundo veio o sulfato (57,47  $\mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$ ) e por último o fosfato (18,44  $\mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$ ).

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

### 3.2.2 Precipitação sob-coberto

Os parâmetros químicos da precipitação sob-coberto tal como o referido para a precipitação bruta, apresentaram um elevado grau de variabilidade, comprovado pelo facto da maior parte deles exibirem coeficiente de variação (C.V.) superiores a cem por cento (Quadro 3.7).

	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
$\mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$										
<b>Média</b>	6,25	243,13	136,03	207,63	289,11	157,87	78,07	313,93	121,00	218,59
<b>Mediana</b>	6,21	161,18	82,28	156,59	112,79	31,66	21,60	193,60	35,26	97,91
<b>Moda</b>	6,39	44,91	135,77	113,09	58,83	0,00	0,00	188,49	55,58	42,87
<b>Variância</b>	0,26	68372,3	24501,7	24272,6	305697,8	87279,3	16717,1	77288,7	59834,1	363229,5
<b>Desvio pad.</b>	0,51	261,48	156,53	155,80	552,90	295,43	129,29	278,01	244,61	602,69
<b>n</b>	165	168	168	168	168	168	168	164	139	164
<b>Erro padrão</b>	0,04	20,17	12,08	12,02	42,66	22,79	9,98	21,71	20,75	47,06
<b>Mínimo</b>	5,02	7,49	12,34	33,93	5,12	0,00	0,00	26,51	0,19	14,97
<b>Máximo</b>	7,36	1404,69	925,70	989,57	3241,85	1664,35	691,55	1272,67	1269,77	5570,47
<b>C. V.</b>	8,22	107,55	115,07	75,04	191,24	187,13	165,61	88,56	202,15	275,72

**Quadro 3.7** - Estatística descritiva relativa aos valores de pH e às concentrações de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, azoto mineral (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Cl<sup>-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> na precipitação sob-coberto recolhida durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.

Sublinha-se a variabilidade da concentração do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e do SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, dado apresentarem um coeficiente de variação superior a duzentos por cento, com teores a variarem entre um máximo e um mínimo de 0,19 a 1269,77 e de 14,97 a 5570,47  $\mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$ , respectivamente.

Em sentido inverso, o valor de pH, e as concentrações de Na<sup>+</sup> e de Cl<sup>-</sup> salientaram-se devido ao seu menor valor de coeficiente de variação, com os valores de pH a variarem entre 5,02 e 7,36 e as concentrações entre 33,93 e 989,57 47  $\mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$  para o sódio e entre 26,51 e 1272,67 para o cloreto.

Tal como para a precipitação bruta, a variação dos valores do pH ao longo do tempo não apresentou um padrão definido (Fig. 3.5), constatando-se, no entanto, que

neste caso, eles variaram entre um intervalo mais restrito, em concordância com o valor de 8,22 atingido pelo coeficiente de variação deste parâmetro.

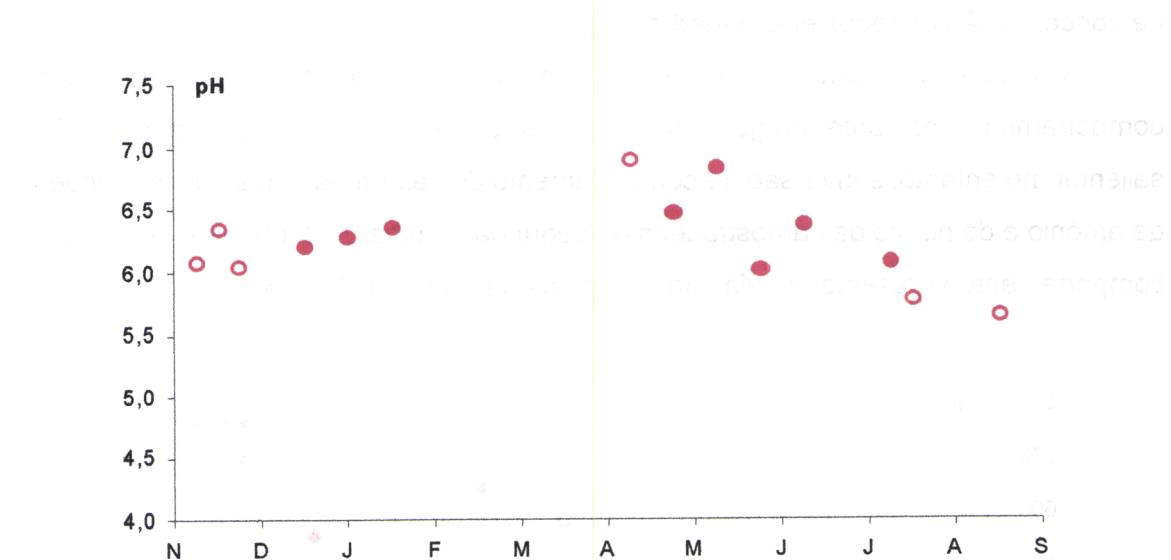


Figura 3.5. – Valores médios do pH na precipitação sob-coberto em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.

Na precipitação sob-coberto, os catiões básicos acentuaram a tendência para as suas concentrações apresentarem padrões de comportamento temporal bastante aproximados (Fig. 3.6), desaparecendo as grandes variações de valores durante o período de Abril a Setembro, verificadas na precipitação bruta.

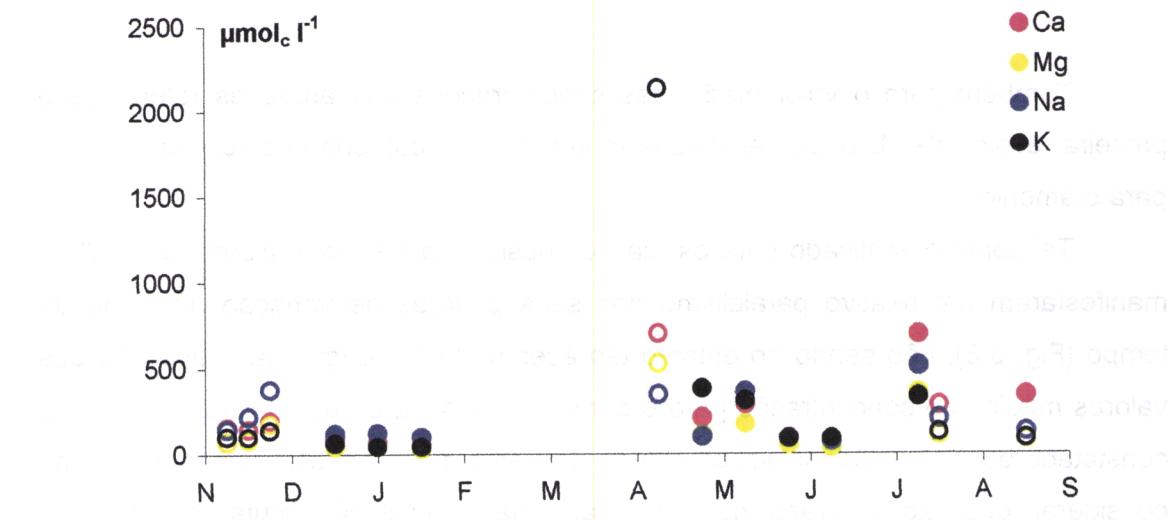


Figura 3.6. – Valores médios da concentração dos catiões básicos na precipitação sob-coberto em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

A tendência de comportamento semelhante apresentada pelos catiões básicos é corroborada pelo facto de se estabelecerem correlações positivas entre os valores de concentração de todos eles (Quadro 3.9).

Os dois componentes do azoto mineral, continuaram a apresentar um comportamento bastante irregular nos valores da respectiva concentração. De salientar, no entanto, a inversão de comportamento do valor médio das concentrações de amónio e de nitrato das amostragens da segunda recolha de Junho, em relação ao comportamento apresentado pelas da precipitação bruta (Fig. 3.3 e 3.7).

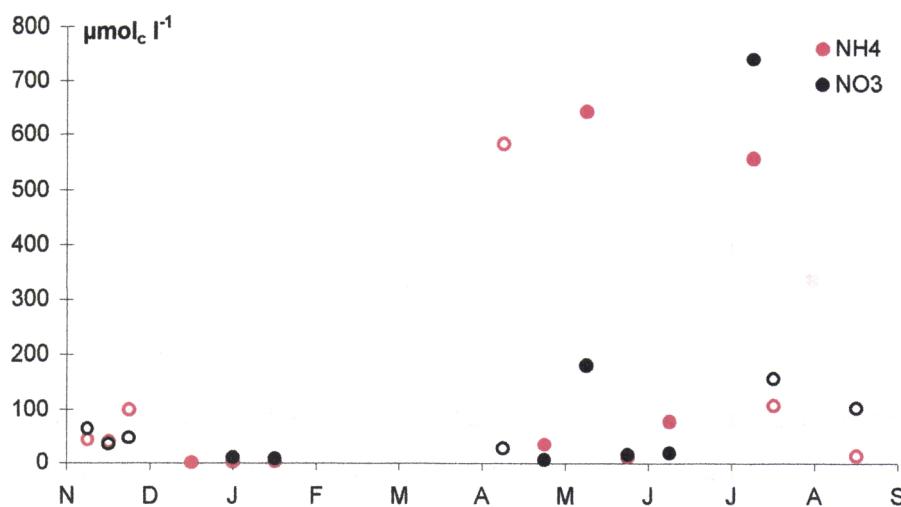


Figura 3.7. – Valores médios da concentração do amónio e da do nitrato na precipitação sob-coberto em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.

Também para o valor médio das concentrações das amostras referentes à primeira recolha de Maio, se verificou uma inversão de comportamento, mas apenas para o amónio.

Tal como o verificado para os catiões básicos, o fosfato, o cloreto e o sulfato manifestaram um relativo paralelismo dos seus padrões de variação ao longo do tempo (Fig. 3.8), não sendo no entanto tão acentuada a redução das variações dos valores médios de concentração para o período de Abril a Setembro, ao contrário do constatado para o período inicial de estudo (Novembro a Janeiro). Podemos mesmo considerar que, ao contrário do patenteado na precipitação bruta, em que as variações de concentração daqueles aniónes ocorreram praticamente ao longo de todo o período de estudo, na precipitação sob-coberto encontrámos duas fases.

Figura 3.8 - Valores médios da concentração de cloreto, fosfato e sulfato na precipitação sob-coberto em amostragens semanais e quinzenais.

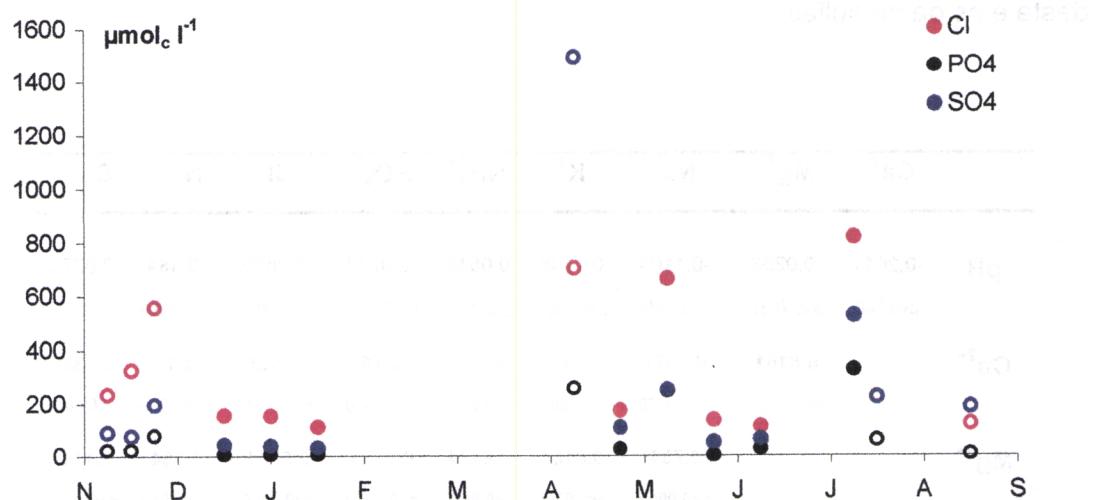


Figura 3.8. – Valores médios da concentração do cloreto, do fosfato e do sulfato na precipitação sob-coberto em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.

Os valores da quantidade de precipitação sob-coberto e os dos parâmetros nelas determinados (Quadro 3.8) apenas não apresentam qualquer tipo de correlação no caso do pH, do  $\text{K}^+$ , do  $\text{NO}_3^-$  e do  $\text{SO}_4^{2-}$ . Nos restantes casos encontraram-se correlações negativas entre os valores da quantidade de precipitação sob-coberto recolhida e os valores dos parâmetros nelas determinados, variando entre -0,55 ( $P<0,0416$ ) e -0,687 ( $P<0,0067$ ), referentes respectivamente, ao  $\text{Mg}^{2+}$  e ao  $\text{Na}^+$ .

	pH	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
Psc	-0,085	<b>-0,55684</b>	<b>-0,55</b>	<b>-0,6868</b>	-0,328	<b>-0,5791</b>	<b>-0,598</b>	<b>-0,6664</b>	-0,43	-0,4539
	p<0,7726	p<0,0339	p<0,0416	p<0,0067	p<0,2522	p<0,03	p<0,0239	p<0,0093	p<0,1425	p<0,1031

Quadro 3.8 - Coeficientes de correlação e respectivas probabilidades associadas, entre a quantidade de precipitação sob-coberto (Psc) e os valores de pH, e da concentração de cationes e anões.

As correlações entre o valor de pH da precipitação sob-coberto e os valores das concentrações dos diferentes iões, só se verificaram entre a do cálcio e a do nitrato, de forma negativa e bastante fraca (Quadro 3.9). Nos restantes casos de avaliação de existência de correlação, apenas não se encontrou qualquer tipo de

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

correlação entre os valores da concentração de potássio e os da de nitrato, e entre os destas e os da de sulfato.

	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
pH	-0,2041 p<0,008	-0,0296 p<0,7037	-0,1103 p<0,1545	0,1408 p<0,0687	0,0548 p<0,4807	-0,0733 p<0,3453	-0,0689 p<0,3751	-0,464 p<0,0000	0,0274 p<0,7242
$\text{Ca}^{2+}$	0,8161 p<0,00000	0,6671 p<0,0000	0,6506 p<0,000	0,5464 p<0,0000	0,6754 p<0,0000	0,5026 p<0,0000	0,5812 p<0,0000	0,4386 p<0,0000	
$\text{Mg}^{2+}$		0,734 p<0,0000	0,8184 p<0,0000	0,6474 p<0,0000	0,7433 p<0,0000	0,5754 p<0,0000	0,384 p<0,0000	0,4447 p<0,0000	
$\text{Na}^+$			0,4251 p<0,0003	0,7336 p<0,0000	0,7456 p<0,0000	0,8481 p<0,0000	0,5166 p<0,0000	0,4695 p<0,0000	
$\text{K}^+$				0,5556 p<0,0000	0,549 p<0,0000	0,3037 p<0,0001	0,0105 p<0,8928	0,4965 p<0,0000	
$\text{NH}_4^+$					0,8058 p<0,0000	0,6626 p<0,0000	0,3172 p<0,0000	0,474 p<0,0000	
$\text{PO}_4^{3-}$						0,6335 p<0,0000	0,5227 p<0,0000	0,32 p<0,0000	
$\text{Cl}^-$							0,5025 p<0,0000	0,5308 p<0,0000	
$\text{NO}_3^-$								0,1413 p<0,0677	

**Quadro 3.9** - Coeficientes de correlação e respectivas probabilidades associadas, entre os valores dos diferentes parâmetros determinados na precipitação sob-coberto.

O valor médio de pH na precipitação sob-coberto para o período de estudo foi de 6,25, denotando características muito pouco ácidas.

Ao contrário da precipitação bruta, o potássio foi o catião básico que apresentou concentração mais elevada ( $289,11 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ), seguido do cálcio ( $243,13 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ), do sódio ( $207,63 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ) e do magnésio ( $136,03 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ), por último.

Tal como na precipitação bruta, o amónio ( $157,87 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ) foi a fração do azoto mineral que apresentou a concentração mais elevada, embora bastante próxima da correspondente ao nitrato ( $121,00 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ).

As concentrações dos aniónes mantiveram as posições relativas que tinham na precipitação bruta, sendo mais uma vez o cloreto a apresentar a concentração mais

elevada ( $313,93 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ), seguido do sulfato ( $218,59 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ) e do fosfato ( $78,07 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ).

### **3.2.3 Escorrimento ao longo do tronco**

Os parâmetros químicos do escorrimento ao longo do tronco (Quadro 3.10), para além do pH, que apresentou o valor de coeficiente de variação (C.V.) mais baixo, também apresentaram elevada variabilidade, de modo semelhante ao referido para a precipitação bruta e para a precipitação sob-coberto, embora com valores de coeficiente de variação em geral inferiores aos apresentados pelos parâmetros da última. Além disso, a variabilidade da concentração dos catiões foi, de um modo geral, menor do que a variabilidade da dos aniónes.

Os iões que apresentaram maior variabilidade, foram o fosfato, o nitrato, o amónio e o sulfato, conforme se constata dos elevados valores de C.V. apresentados.

	pH	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
$\mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$										
Média	7,01	1847,76	543,28	414,68	948,47	105,54	71,97	670,69	254,35	469,59
Mediana	7,37	1736,53	545,13	289,26	818,46	23,20	6,97	375,17	27,53	162,14
Moda	7,25	1526,95	575,99	293,61	722,54	2,28	4,65	265,82	13,97	111,37
Variância	0,76	451760,9	118524,5	145802,8	240759,5	35124,4	24581,3	614791,4	226179,8	612059,8
Desvio pad.	0,87	672,13	344,27	381,84	490,67	187,42	156,78	784,09	475,58	782,34
n	10	12	12	12	12	12	12	12	5	12
Erro pad	0,28	194,03	99,38	110,23	141,64	54,10	45,26	226,35	212,69	225,84
Mínimo	5,35	960,58	242,74	182,69	453,99	2,28	2,52	125,72	6,07	35,02
Máximo	7,79	3103,79	1501,69	1555,04	2161,24	593,22	545,30	2931,20	1100,91	2836,17
C. V.	12,45	36,38	63,37	92,08	51,73	177,57	217,84	116,91	186,98	166,60

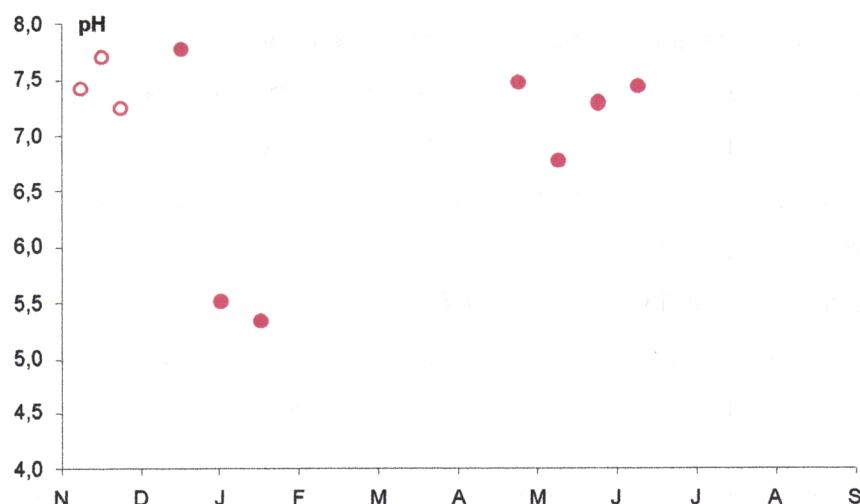
**Quadro 3.10** - Estatística descritiva relativa aos valores de pH e às concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , azoto mineral ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ),  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  no escorrimento ao longo do tronco recolhido durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.

O valor de pH, já referido, e a concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  foram os parâmetros que apresentaram menor variabilidade, patente nos baixos valores de coeficiente de

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

variação, com os valores do primeiro a variarem entre um mínimo de 5,35 um máximo de 7,79 e a concentração do segundo a variar entre 960,58 e 3103,79  $\mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$ .

De modo semelhante ao ocorrido com a precipitação bruta e com a precipitação sob-coberto, os valores de pH apresentaram um comportamento irregular ao longo do tempo (Fig. 3.9), no entanto o menor número de valores para este componente do estudo não permitiu ter uma imagem tão completa como para as duas primeiras.

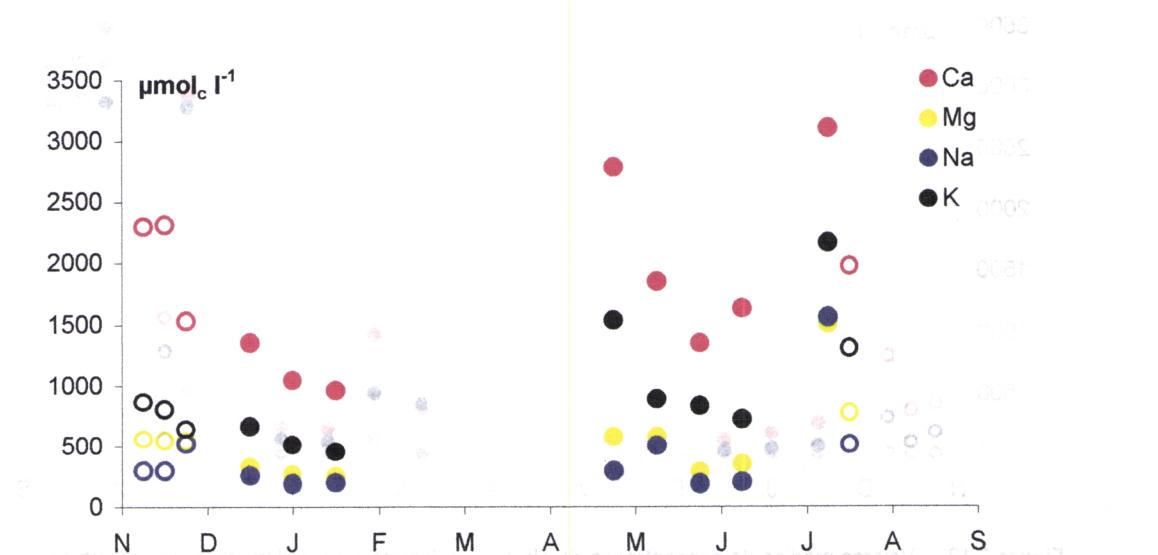


**Figura 3.9.** – Valores médios do pH no escorrimento ao longo do tronco em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.

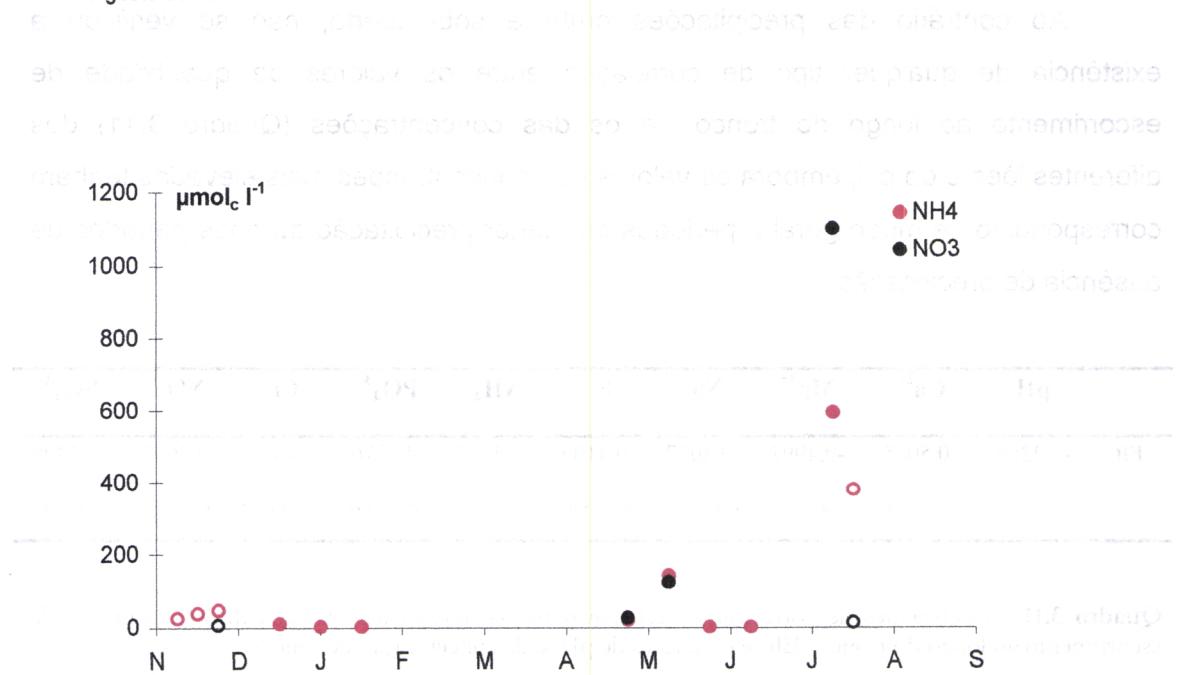
No escorrimento ao longo do tronco, os catiões básicos retomaram em parte o padrão de variação ao longo do tempo, que apresentaram na precipitação bruta, observando-se além disso, paralelismo de comportamento, por um lado, entre o cálcio e o potássio e por outro entre o sódio e o magnésio (Fig. 3.10).

Os componentes do azoto mineral mantiveram no escorrimento ao longo do tronco (Fig. 3.11) o padrão de comportamento referido na precipitação sob-coberto, excepto aquele que se refere ao amónio, uma vez que este apresentou valores relativamente modestos, por comparação com os da precipitação sob-coberto, em algumas datas de amostragem.

O fosfato, o cloreto e o sulfato, também mantiveram o padrão de variação das concentrações ao longo do tempo, que manifestaram na precipitação sob-coberto (Fig. 3.12).

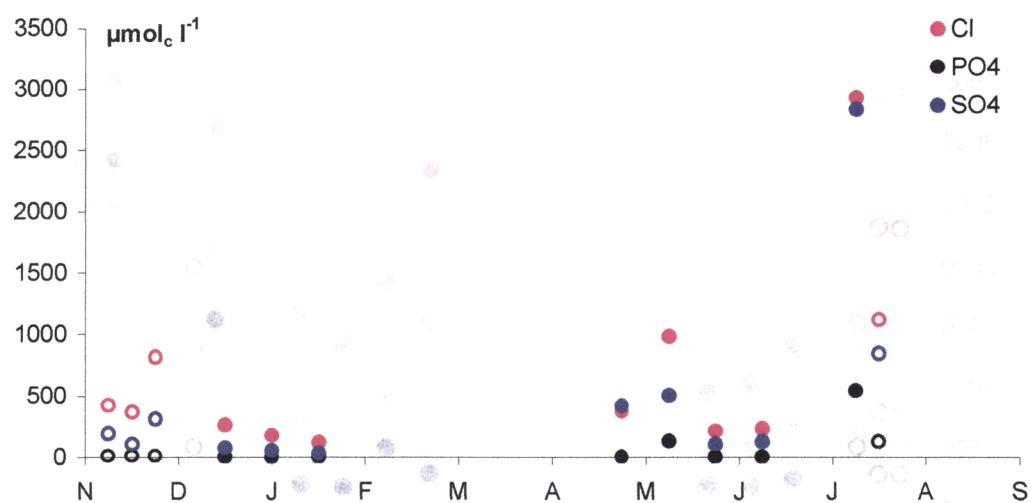


**Figura 3.10.** – Valores médios da concentração dos cátions básicos no escorrimento ao longo do tronco em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.



**Figura 3.11.** – Valores médios da concentração do amônio e do nitrito no escorrimento ao longo do tronco em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*



**Figura 3.12.** – Valores médios da concentração do cloreto, do fosfato e do sulfato no escorramento ao longo do tronco em amostragens semanais (○) e quinzenais (●), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997.

Ao contrário das precipitações bruta e sob-coberto, não se verificou a existência de qualquer tipo de correlação entre os valores da quantidade de escorramento ao longo do tronco e os das concentrações (Quadro 3.11) dos diferentes iões e do pH, embora os valores das concentrações mais elevadas tenham correspondido de modo geral a períodos de menor precipitação ou após períodos de ausência de precipitação.

	pH	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
Elt	-0,2259	-0,5065	-0,4997	-0,4037	-0,4109	-0,4232	-0,3576	-0,4496	-0,2693	-0,3809
	p<0,5304	p<0,0981	p<0,0981	p<0,1931	p<0,1846	p<0,1704	p<0,2538	p<0,1425	p<0,6614	p<0,2219

**Quadro 3.11** - Coeficientes de correlação e respectivas probabilidades associadas, entre a quantidade de escorramento ao longo do tronco (Elt) e os valores de pH, e da concentração de catiões e anionas..

Também para o escorramento ao longo do tronco, não se encontraram maioritariamente correlações entre os valores de pH e os valores das concentrações dos diferentes iões, com a excepção da que se obteve com os valores de concentração de amónio, de valor negativo, mas fraca (- 0.5509; P<0.0412). Nos restantes casos de avaliação de existência de correlação, apenas não se encontrou qualquer tipo de correlação entre os valores da concentração de cálcio e os da de nitrato (Quadro 3.12).

	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
pH	0,2873 p<0,3192	-0,1444 p<0,6224	-0,2595 p<0,3704	-0,0178 p<0,9517	-0,5509 p<0,0412	-0,4569 p<0,1005	-0,3576 p<0,2093	-0,4147 p<0,1404	-0,4414 p<0,1141
$\text{Ca}^{2+}$		<b>0,8531</b> <b>p&lt;0,0001</b>	<b>0,6879</b> <b>p&lt;0,0065</b>	<b>0,9137</b> <b>p&lt;0,000</b>	<b>0,5493</b> <b>p&lt;0,0419</b>	<b>0,5474</b> <b>p&lt;0,0428</b>	<b>0,6482</b> <b>p&lt;0,0122</b>	<b>0,5029</b> <b>p&lt;0,0668</b>	<b>0,6143</b> <b>p&lt;0,0194</b>
$\text{Mg}^{2+}$			<b>0,9549</b> <b>p&lt;0,0000</b>	<b>0,9281</b> <b>p&lt;0,0000</b>	<b>0,8813</b> <b>p&lt;0,0000</b>	<b>0,8787</b> <b>p&lt;0,0000</b>	<b>0,9452</b> <b>p&lt;0,0000</b>	<b>0,8188</b> <b>p&lt;0,0003</b>	<b>0,9155</b> <b>p&lt;0,0000</b>
$\text{Na}^+$				<b>0,8285</b> <b>p&lt;0,0003</b>	<b>0,9022</b> <b>p&lt;0,0000</b>	<b>0,9548</b> <b>p&lt;0,0000</b>	<b>0,9899</b> <b>p&lt;0,0000</b>	<b>0,9223</b> <b>p&lt;0,0000</b>	<b>0,9664</b> <b>p&lt;0,0000</b>
$\text{K}^+$					<b>0,7683</b> <b>p&lt;0,0013</b>	<b>0,7575</b> <b>p&lt;0,0017</b>	<b>0,814</b> <b>p&lt;0,0004</b>	<b>0,7041</b> <b>p&lt;0,0049</b>	<b>0,8216</b> <b>p&lt;0,0003</b>
$\text{NH}_4^+$						<b>0,9369</b> <b>p&lt;0,0000</b>	<b>0,9447</b> <b>p&lt;0,0000</b>	<b>0,8365</b> <b>p&lt;0,0002</b>	<b>0,9415</b> <b>p&lt;0,0000</b>
$\text{PO}_4^{3-}$							<b>0,9694</b> <b>p&lt;0,0000</b>	<b>0,9686</b> <b>p&lt;0,0000</b>	<b>0,9852</b> <b>p&lt;0,0000</b>
$\text{Cl}^-$								<b>0,915</b> <b>p&lt;0,0000</b>	<b>0,9767</b> <b>p&lt;0,0000</b>
$\text{NO}_3^-$									<b>0,9595</b> <b>p&lt;0,0000</b>

**Quadro 3.12** - Coeficientes de correlação e respectivas probabilidades associadas, entre os valores dos diferentes parâmetros determinados no escorrimeto ao longo do tronco.

O valor médio do pH do escorrimeto ao longo do tronco situou-se próximo da neutralidade (7,01), mais elevado, portanto, do que os valores médios atingidos nas precipitações bruta e sob-coberto.

De modo diferente do referido para a precipitação bruta e para a precipitação sob-coberto, o catião básico que apresentou a concentração mais elevada foi o cálcio ( $1847,76 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ), seguido do potássio ( $948,47 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ), do magnésio ( $543,28 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ) e do sódio ( $414,68 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ).

Ao contrário do verificado nas precipitações bruta e sob-coberto, a concentração de nitrato no escorrimeto ao longo do tronco foi mais elevada ( $254,35 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ) do que a determinada para o amónio ( $105,54 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ).

Mais uma vez, o fosfato, o cloreto e o sulfato mantiveram as posições relativas anteriores, sendo a concentração mais elevada a do cloreto ( $670,69 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ), seguida da do sulfato ( $469,59 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ) e por fim da do fosfato ( $71,97 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ).

### 3.2.4 Comparação do valor de pH e das concentrações de iões nas precipitações bruta, e sob-coberto e no escorrimento ao longo do tronco

Da observação da variação dos parâmetros químicos das soluções ao longo do tempo, verificou-se que na grande maioria dos casos a precipitação bruta apresentou os valores mais baixos, enquanto o escorrimento ao longo dos troncos, pelo contrário, apresentou os valores mais elevados, assumindo a precipitação sob-coberto um comportamento intermédio entre as outras duas soluções.

Esta diferenciação vertical das precipitações parece ser confirmada pelo facto dos resultados da análise de variância entre os valores dos parâmetros relativos às três soluções referidas (Quadro 3.13), apenas não terem mostrado diferenças significativas entre as concentrações de amónio, de fosfato e de nitrato. De qualquer modo foi evidente o acréscimo de concentração que ocorreu, em geral, da precipitação bruta para a precipitação sob-coberto e desta para o escorrimento ao longo dos troncos.

	pH	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{NH}_4^+$ $\mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
Pb	6,16 a	65,65 a	30,27 a	78,79 a	15,80 a	55,70	18,44	78,05 a	25,13	57,47 a
Psc	6,25 ab	243,13 b	136,03 b	207,63 b	289,11 b	157,87	78,07	313,93 b	121,00	218,59 b
Elt	7,01 b	1847,76 c	543,28 c	414,68 c	948,47 c	105,54	71,97	670,69 b	254,35	469,59 b
n.s.	P<0,05	P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001	n.s.	n.s.	P<0,0001	n.s.	P<0,001

**Quadro 3.13** - Valores médios de pH e das concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , azoto mineral ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ),  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  nas soluções da precipitação bruta (Pb), da precipitação sob-coberto (Psc), e do escorrimento ao longo do tronco (Elt), recolhidas durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997. Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas pelo teste de **Student-Newman-Keuls**, e pelo teste de comparação múltipla específico para o pH.

Os valores de pH das soluções da precipitação apresentaram um acréscimo significativo da precipitação bruta para a precipitação sob-coberto, bem como desta para o escorrimento ao longo do tronco.

As concentrações do cálcio, do magnésio, do sódio e do potássio apresentaram um padrão de variação semelhante ao verificado para os valores do pH, com acréscimos significativos de concentração da precipitação bruta para o escorrimento ao longo do tronco.

Não se encontraram diferenças significativas entre as concentrações das diferentes soluções, para o caso do amónio, nitrato e sulfato. Não obstante, os valores médios da concentração de amónio e de fosfato na precipitação bruta foram menores do que na precipitação sob-coberto, e nesta maiores do que no escorrimento ao longo do tronco. O acréscimo da concentração do nitrato, embora não significativo, apresentou tendência semelhante à manifestada pelos catiões básicos.

O cloreto e o sulfato apresentaram diferenças significativas entre as concentrações determinadas na precipitação bruta e as determinadas na precipitação sob-coberto. As concentrações destes aníones aumentaram da precipitação sob-coberto para o escorrimento ao longo do tronco, sem no entanto apresentarem diferenças significativas.

	$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}/\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$	$\text{Mg}^{2+}/\text{K}^+$	$\text{Na}^+/\text{K}^+$
Precipitação bruta	2,17	0,83	4,15	0,38	1,92	4,99
Precipitação sob-coberto	1,79	1,17	0,84	0,66	0,47	0,72
Escorrimento pelo tronco	3,40	4,46	1,95	1,31	0,57	0,44

**Quadro 3.14** - Razões entre as concentrações ( $\mu\text{mol}, \text{l}^{-1}$ ) dos catiões básicos na precipitação bruta, na precipitação sob-coberto e no escorrimento ao longo do tronco.

Analizando a variação da concentração dos catiões da precipitação bruta para a precipitação sob-coberto e desta para o escorrimento ao longo dos troncos (Quadro 3.14), constatou-se que o  $\text{K}^+$  aumentou a sua concentração relativamente aos outros catiões básicos, pois as razões  $\text{Ca}^{2+}/\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}/\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  diminuíram fortemente quando a precipitação bruta atravessa a copa das árvores. Por oposição, o  $\text{Na}^+$  aumentou proporcionalmente menos do que os outros três, pois as razões  $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$  evidenciaram acréscimos claros após passagem da precipitação pela copa das árvores.

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

O valor da razão  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  revelou que o  $\text{Mg}^{2+}$  sofreu um acréscimo maior do que o  $\text{Ca}^{2+}$  da precipitação bruta para a precipitação sob-coberto, invertendo-se a tendência na passagem da precipitação bruta para o escorrimento ao longo do tronco.

	$\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$	$\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$
<b>Precipitação bruta</b>	3,11	1,36	0,44
<b>Precipitação sob-coberto</b>	2,59	1,44	0,55
<b>Escorrimento pelo tronco</b>	2,64	1,43	0,54

**Quadro 3.15-** Razões entre as concentrações ( $\mu\text{mol}, \text{L}^{-1}$ ) de anões na precipitação bruta, na precipitação sob-coberto e no escorrimento ao longo dos troncos.

No caso dos anões (Quadro 3.15), o nitrato aumentou em maior proporção do que o cloreto e o sulfato quando se passa da precipitação bruta para a precipitação sob-coberto, bem como desta para o escorrimento ao longo do tronco, conforme se observa pelo decréscimo da razão  $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$  e pelo acréscimo da razão  $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ . O cloreto, por seu turno, apresentou um ligeiro acréscimo em relação ao sulfato conforme se depreende do pequeno acréscimo da razão  $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$  na precipitação sob-coberto e no escorrimento ao longo do tronco relativamente à determinada na precipitação bruta.

### **3.2.5 Variação do valor de pH e da concentração de iões na precipitação sob-coberto com a distância ao tronco**

Para além da diferenciação entre a concentração de nutrientes na precipitação bruta, na precipitação sob-coberto e no escorrimento ao longo do tronco, considerou-se a diferenciação horizontal da concentração de nutrientes na precipitação sob-coberto, para distâncias crescentes em relação ao tronco da árvore (Quadro 3.16).

Distância	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
0	7,01	1851,46 a	543,28 a	414,68 a	948,47 a	105,54	71,98	670,69 a	254,35	469,59 a
1	6,35	344,05 b	148,73 b	207,24 b	351,58 b	131,61	89,06	312,30 a	160,53	285,21 a
2	6,22	225,69 bc	153,75 b	229,79 b	314,76 b	214,32	91,58	341,68 a	102,81	187,66 a
3	6,19	161,11 cd	105,60 b	185,84 b	200,97 b	127,69	53,59	299,49 a	64,09	222,42 a
4	6,15	68,34 d	34,84 c	87,66 c	57,54 c	124,88	52,25	-	-	-
5	6,19	63,78 d	37,01 c	90,71 c	51,44 c	155,82	55,57	-	-	-
Pb	6,13	65,79 d	30,27 c	78,79 c	15,80 c	55,70	18,45	78,05 b	25,13	57,47 b
	n.s.	P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001	n.s.	n.s.	P<0,0001	n.s.	P<0,01

**Quadro 3.16** - Valores médios de pH e das concentrações de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, azoto mineral (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Cl<sup>-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> nas soluções recolhidas ao longo do tronco (**Distância 0**), sob a copa da árvore (**Distâncias 1 e 2**), no limite da projecção da copa da árvore (**Distância 3**), fora do limite da projecção da copa da árvore (**Distâncias 4 e 5**) e na torre acima da copa da árvore (**Pb**), durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997. Letras diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas pelo teste de **Student-Newman-Keuls**.

Os valores de pH mostraram um decréscimo, embora não significativo, com o afastamento ao tronco da árvore.

Por sua vez, a concentração do cálcio decresceu significativamente do tronco até ao limite da projecção da copa, e das recolhas sob a copa para aquelas fora do limite da sua projecção e acima dela (**Pb**).

O padrão de variação dos restantes catiões básicos foi semelhante ao referido para o cálcio, embora com uma diferenciação menos nítida, dado que as concentrações determinadas sob a projecção da copa e no limite desta não diferiram significativamente entre si. Para o potássio é de salientar o facto da sua concentração ter decrescido, embora de um modo não significativo, das distâncias fora da projecção da copa para a determinada acima da copa da árvore, podendo indicar um eventual prolongamento da influência da copa da árvore para além do limite da sua projecção.

Os valores da concentração do amónio e do fosfato não apresentaram qualquer variação significativa com o afastamento ao tronco da árvore, nem com a presença ou ausência da copa desta. Todavia, tal como para o potássio, verificou-se também um decréscimo não significativo das concentrações determinadas fora da projecção da copa para a concentração determinada acima desta, indicando o mesmo tipo de acção já referido.

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

As concentrações do cloreto e do sulfato determinadas sob a copa da árvore diferiram significativamente da respectiva concentração determinada na precipitação bruta, não se podendo falar, porém, nestes casos de uma diferenciação com o afastamento ao tronco. Não obstante, a concentração daqueles aníões decresceu das amostragens do tronco para aquelas no limite da projecção da copa.

Padrão semelhante foi verificado para o nitrato, embora as concentrações das amostragens sob a copa não fossem significativamente superiores às determinadas na precipitação bruta (acima da copa da árvore).

### **3.2.6 Quantidades de elementos transportados pela precipitação bruta, precipitação sob-coberto e escorrimento ao longo do tronco**

Durante o período em que durou o presente trabalho (Novembro de 1996 a Agosto de 1997), as soluções correspondentes à precipitação bruta, à precipitação sob-coberto e ao escorrimento ao longo dos troncos, contribuíram com quantidades apreciáveis na devolução de nutrientes ao solo.

No caso da precipitação bruta, o elemento cujo *input* atingiu maior quantidade foi o cloro (Quadro 3.17), seguido em ordem decrescente pelo sódio, cálcio, enxofre, potássio, magnésio, azoto, fósforo e em último o hidrogénio.

As quantidades de elementos devolvidas ao solo pela precipitação sob-coberto, resultam do somatório entre as quantidades desses elementos transportadas pela precipitação bruta e as quantidades resultantes da lavagem e da lixiviação das copas ao serem atravessadas por esta.

No tocante à quantidade de lavagem/lixiviação, assume particular relevância o potássio ( $3,44 \text{ g m}^{-2}$ ) e o cloro ( $2,89 \text{ g m}^{-2}$ ), seguidos do cálcio ( $1,48 \text{ g m}^{-2}$ ) e do sódio ( $1,15 \text{ g m}^{-2}$ ). Os restantes elementos devolvidos através do referido processo, são no em quantidades inferiores a  $1 \text{ g m}^{-2}$ .

## Resultados

	H	Ca	Mg	Na	K	N-NH <sub>4</sub> g m <sup>-2</sup>	P	Cl	N-NO <sub>3</sub>	S
Precipitação bruta	0,0015	0,45	0,13	0,88	0,20	0,11	0,06	1,43	0,07	0,31
Precipitação sob-coberto	0,0005	1,93	0,58	2,03	3,64	0,31	0,13	4,32	0,28	0,97
Escorrimento ao longo do tronco <sup>7</sup>	<0,0001	0,12	0,02	0,02	0,11	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	<0,01

**Quadro 3.17** - Quantidades de elementos químicos transportados pelas precipitações bruta e sob-coberto e pelo escorrimento ao longo do tronco, de Novembro de 1997 a Agosto de 1998.

As reduzidas quantidades de nutrientes devolvidas ao solo através do escorrimento ao longo do tronco, explicam-se devido à unidade escolhida para expressar essas quantidades (g m<sup>-2</sup> de copa da árvore). No entanto, como é reconhecido (Voight, 1960), o escorrimento ao longo do tronco apenas exerce o seu efeito numa estreita faixa ao redor do tronco da árvore, pelo que, se apenas for tomada em consideração a área efectivamente influenciada (Quadro 3.18), as quantidades devolvidas assumirão outra ordem de grandeza.

Raio da coroa circular (m)	H	Ca	Mg	Na	K	N-NH <sub>4</sub> g m <sup>-2</sup>	P	Cl	N-NO <sub>3</sub>	S
0,2	0,00092	18,84	2,67	3,44	18,04	0,09	0,03	5,67	0,02	1,15
0,5	0,00026	5,37	0,76	0,98	5,14	0,02	0,00	1,61	0,00	0,33
1,0	0,000089	1,81	0,26	0,33	1,74	0,0084	0,0027	0,55	0,0023	0,11

**Quadro 3.18** - Quantidades de elementos transportados pelo escorrimento ao longo do tronco, de Novembro de 1997 a Agosto de 1998, considerando como área por ele influenciada, uma coroa circular à volta do tronco da árvore, com 0,2, 0,5 e 1,0 m de raio.

Da observação do Quadro 3.18, constata-se que as quantidades de elementos devolvidas ao solo quando se considera como zona de influência do escorrimento ao longo do tronco, em vez da área de projecção da copa, uma coroa circular com raio

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

de 0,20 e 0,50 m, são expressivamente superiores às devolvidas pela precipitação sob-coberto. Ainda quando se considera um raio de 1,0 m, encontramos elementos que apresentam quantidades de devolução ainda importantes e relativamente próximas das determinadas para a precipitação sob-coberto.

### **3.2.7 Solução do solo**

Os parâmetros químicos da solução do solo recolhida por drenagem nos 15 cm superficiais, apresentaram variabilidade moderada conforme os valores do coeficiente de variação parecem confirmar (Quadro 3.19). No entanto o amónio, o nitrato e o fosfato não seguiram essa tendência, visto terem apresentado valores do coeficiente de variação (C.V.) superiores aos dos restantes parâmetros.

O pH da solução apresentou-se moderadamente ácido, sendo de realçar o facto de tanto a média como a mediana e a moda se terem situado próximas do valor 6,5.

No caso dos catiões básicos, o valor de concentração mais elevado foi determinado para o cálcio ( $251,15 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ), ao qual se seguiram por ordem decrescente o potássio ( $153,89 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ), o sódio ( $128,25 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ) e por último o magnésio ( $86,57 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ).

Os componentes do azoto mineral apresentaram uma concentração de  $82,71 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$  (nitrato) e de  $53,70 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$  (amónio). Este último apresentou um valor de moda igual a zero, indicador do predomínio das amostras com concentrações vestigiais.

Para os restantes iões, a concentração mais elevada correspondeu ao cloreto ( $170,89 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ), seguida da do sulfato ( $96,95 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ) e por fim da do fosfato ( $15,59 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ).

A variabilidade das amostras aumentou consideravelmente para a solução de drenagem recolhida aos 30 cm de profundidade, conforme é demonstrado pelo facto dos valores do coeficiente de variação (Quadro 3.19) terem sido superiores aos

<sup>7</sup> As quantidades de nutrientes devolvidas ao solo pelo escorrimento ao longo do tronco, encontram-se expressas em  $\text{g m}^{-2}$  de copa. Para tal dividiu-se o somatório de cada um dos nutrientes pela área da copa

valores apresentados pela solução de drenagem recolhida a 15 cm, excepto para o valor de pH e para as concentrações de  $\text{NH}_4^+$  e de  $\text{SO}_4^{2-}$ .

	pH	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
	$\mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$									
<b>Drenagem dos 15 cm superficiais</b>										
Média	6,06	251,15	86,57	128,25	153,89	53,70	15,59	170,89	82,71	96,95
Mediana	6,57	226,25	82,28	115,49	115,73	16,63	9,93	159,46	32,50	91,54
Moda	6,53	175,00	41,14	139,19	76,73	0,00	10,17	157,34	31,77	91,07
Variância	1,49	19904,9	1610,9	3358,9	10373,3	8834,0	338,9	3227,9	11280,8	824,3
Desvio pad.	1,22	141,08	40,14	57,96	101,85	93,99	18,41	56,81	106,21	28,71
n	18	24	24	24	24	23	24	24	21	24
Erro padrão	0,29	28,80	8,19	11,83	20,79	19,60	3,76	11,60	23,18	5,86
Mínimo	3,72	77,50	41,14	63,07	44,76	0,00	0,00	79,57	2,14	54,88
Máximo	7,43	630,00	197,48	304,48	450,15	342,10	68,48	296,17	357,32	167,17
C. V.	20,14	56,18	46,36	45,19	66,18	175,01	118,04	33,25	128,42	29,61
t <sup>8</sup>	n.s.	**	*	n. s.	***	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
<b>Drenagem a 30 cm</b>										
Média	6,10	149,69	79,51	178,75	154,55	11,15	13,54	181,66	111,53	111,32
Mediana	6,26	125,00	49,37	167,47	51,15	5,82	4,89	111,30	64,76	104,43
Moda	6,02	125,00	37,03	58,72	46,04	0,00	3,39	95,45	52,51	91,26
Variância	0,40	18538,2	9463,3	15528,8	142795,6	186,8	408,3	39211,7	13967,1	3157,2
Desvio pad.	0,64	136,16	97,28	124,61	377,88	13,67	20,21	198,02	118,18	56,19
n	11	16	16	16	16	14	14	15	12	16
Erro pad.	0,19	34,04	24,32	31,15	94,47	3,65	5,40	51,13	34,12	14,05
Mínimo	4,65	25,00	16,46	21,75	24,30	0,00	2,52	26,54	11,50	45,20
Máximo	7,00	605,00	419,65	504,57	1566,58	41,55	76,91	789,38	413,05	236,11
C. V.	10,42	90,96	122,35	69,72	244,51	122,62	149,24	109,00	105,97	50,48

**Quadro 3.19 - Estatística descritiva relativa aos valores de pH e às concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , azoto mineral ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ),  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  na solução de solo recolhida a 15 e a 30 cm de profundidade, no período de 15 de Abril a 3 de Junho de 1997.**

A solução de drenagem a 30 cm de profundidade também se apresentou como moderadamente ácida, mas no que se refere aos catiões básicos verificou-se que o sódio passou a ser aquele com a concentração mais elevada ( $178,75 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ), seguido do potássio ( $154,55 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ), passando o cálcio para o terceiro lugar ( $149,69 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ), e, por fim, com a concentração menos elevada, o magnésio ( $79,51 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ).

No caso do azoto mineral da solução de drenagem recolhida a 30 cm de profundidade, o nitrato e o amónio mantiveram a proporção relativa, continuando o

( $74,662 \text{ m}^2$ ) da árvore na qual se recolheu o escorrimento ao longo do tronco.

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

último a ocorrer em concentrações vestigiais, conforme se depreende do valor zero apresentado pela moda.

As concentrações dos restantes aníões mantiveram a mesma ordem referida para a profundidade a 15 cm, com o cloreto em primeiro ( $181,66 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ), seguido do sulfato ( $111,32 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ) e, por fim, do fosfato com um valor de concentração mais modesto ( $13,54 \mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ).

Comparando as concentrações das soluções de drenagem às profundidades referidas, apenas se encontraram diferenças significativas para o cálcio, para o magnésio e para o potássio,

Em termos de tendência, verificou-se com o aumento da profundidade, por um lado, um acréscimo na concentração do sódio, do cloreto, do nitrato e do sulfato; por outro, um decréscimo na concentração do cálcio, do magnésio, do amónio e do fosfato. Os valores de pH e da concentração de potássio não apresentaram variação apreciável.

Avaliando as variações relativas, constatou-se que o cálcio é o catião básico em que o efeito da profundidade foi mais evidente, conforme se pode ver pela diminuição das razões  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}/\text{K}^+$ . O magnésio apresentou um decréscimo mais evidente em relação ao sódio e em relação ao potássio, uma vez que as razões  $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}/\text{K}^+$  também decresceram com a profundidade (Quadro 3.20).

	$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}$	$\text{Ca}^{2+}/\text{Na}$	$\text{Ca}^{2+}/\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}/\text{Na}$	$\text{Mg}^{2+}/\text{K}^+$	$\text{Na}^+/\text{K}^+$
15 cm	2,90	1,96	1,63	0,68	0,56	0,83
30 cm	1,88	0,84	0,97	0,44	0,51	1,16

Quadro 3.20 - Razões entre as concentrações ( $\mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ) dos catiões básicos na solução do solo recolhida a 15 e a 30 cm de profundidade.

De modo contrário, verificou-se que o sódio apresentou acréscimo evidente em relação aos outros catiões, dado que além do decréscimo que ele provocou nas outras razões em que intervém, se observou um acréscimo da razão  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ .

<sup>8</sup> Resultados do teste t de Student realizado entre os valores dos diferentes parâmetros determinados, para as duas profundidades. A existência de asteriscos indica a ocorrência de diferenças significativas para  $p<0,05$  (\*),  $p<0,01$  (\*\*) e  $p<0,001$  (\*\*\*)

No que se refere aos anões (Quadro 3.21), a concentração de nitrato apresentou um aumento relativo face aos outros dois iões, tal como se verificou pela diminuição da razão  $\text{Cl}/\text{NO}_3^-$  e pelo aumento da razão  $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ . O sulfato apresentou apenas um ligeiro acréscimo relativo quando comparado com o cloreto, como é evidenciado pela ligeira diminuição da razão  $\text{Cl}/\text{SO}_4^{2-}$ .

	$\text{Cl}/\text{NO}_3^-$	$\text{Cl}/\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$
15 cm	2,07	1,76	0,85
30 cm	1,63	1,63	1,00

**Quadro 3.21** - Razões entre as concentrações ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ ) de anões na solução do solo recolhida a 15 e 30 cm de profundidade.

Dado o curto período em que se recolheram as amostras de solução de solo por drenagem (15 de Abril a 3 de Junho de 1997), não se procedeu à avaliação do comportamento das concentrações das soluções ao longo do tempo. Como é evidente também não se calcularam as quantidades de nutrientes perdidas por drenagem, dada a fraca representatividade dos dados obtidos.

Dado o seu interesse particular, refere-se, embora a título preliminar, a coincidência entre a ocorrência de baixos valores de pH e a ocorrência de concentrações muito elevadas de nitrato na solução de drenagem (Quadro 3.22). Esta coincidência é corroborada, pelo menos para a profundidade de 15 cm, pela ocorrência de uma forte correlação negativa (-0,7447;  $p<0,0009$ ) entre os valores de pH e os da concentração de nitrato.

Aquela correlação tornou-se ainda mais forte (0,8757;  $p<0,0222$ ), quando se restringiu a comparação aos valores referente à amostragem com data de 3 de Junho de 1997, na qual abundavam, por um lado, valores da concentração de nitrato bastante elevados e, por outro, valores de pH muito baixos.

**Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia***

Data	15-Abril-97		28-Abril-97		03-Junho-97	
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH
<b>Prof. 1</b>	-	7,04	152,76	-	11,81	-
	-	6,75	25,29	7,43	2,14	6,28
277,66	-		51,72	-	5,09	-
14,48	7,05		32,49	6,53	29,19	6,78
64,61	6,95		38,84	6,65	320,20	4,02
23,72	7,1		31,77	4,05	357,32	3,72
22,13	6,25		21,16	6,6	106,37	4,49
38,26	6,54				109,79	4,9
<b>Prof. 2</b>	33,34	7	413,05	-	241,51	5,65
52,51	6,35		127,76	6,45	-	6,67
188,36	6,5		55,49	-	11,49	6,02
74,03	5,81		18,99	5,73	30,71	6,26
					91,06	4,65

**Quadro 3.22** - Valores de pH e valores da concentração de nitrato nas diferentes amostras de solução de solo recolhidas a 15 (**Prof. 1**) e a 30 cm (**Prof. 2**) de profundidade. Nos casos em que surge (-) não foi possível determinar o referido parâmetro.

## 4 . DISCUSSÃO

Os valores apresentados pelos diferentes parâmetros químicos determinados na precipitação bruta, consoante o parâmetro considerado, assemelham-se aos valores encontrados noutros trabalhos da mesma natureza, realizados no nosso país e no estrangeiro.

Os valores do pH encontrados no presente estudo para a precipitação bruta foram ligeiramente superiores ao valor de 5,4 encontrado em Coimbra por Teixeira (1993), bem como aos valores de 5,36 na Carrasqueira (Porto Alto) e de 5,35 em Pegões determinados por Cortez (1996), em trabalhos da mesma índole. No entanto, aqueles valores de pH enquadram-se no intervalo dos valores registados em diversos locais do nosso país (5,10 a 6,23), tal como é referido por Carvalho & Marques (1989).

Valores do pH ligeiramente superiores aos valores que caracterizaram o presente estudo, foram registados por Gauquelin *et al.* (1992) na zona do Alto Atlas ocidental com precipitações médias de 590 mm, e a uma altitude de 2.450 m.

Porém, de um modo geral, os valores registados neste parâmetro foram superiores aos referidos noutros estudos semelhantes. Com efeito, em diferentes locais de Espanha foram registados valores de pH inferiores (4,75 a 5,69) aos deste trabalho, em situações de precipitação média anual a variar de 570 a 1580 mm (Bellot & Escarre, 1990; Rodá *et al.*, 1990; Cáscon *et al.*, 1994 e Moreno *et al.*, 1994). Valores de 4,5 e 5,2, também inferiores aos do presente estudo, são referidos para o Reino Unido (Stevens, 1987; Gower *et al.*, 1995) e para a Irlanda (Farrel, 1990).

Nos Estados Unidos da América também têm sido referidos valores de pH inferiores aqueles determinados no presente estudo. Tajchman *et al.* (1991) referem valores de 4,4 e 5,0 para a Virgínia Ocidental; McColl (1981) indica um valor de 5,03 para a Califórnia; por fim, Edmonds *et al.* (1991) refere um valor de 5,3 para Washington. Estes últimos autores referem ainda que valores mais baixos do que aquele são comuns para outras zonas dos Estados Unidos, devido a acções antropogénicas, dada a proximidade desses locais a zonas industrializadas. Podemos portanto supor que os valores mais elevados do pH obtidos neste estudo poderão dever-se ao baixo impacto da acção humana na região, principalmente no que se refere à actividade industrial.

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

Os valores de concentração de catiões básicos apresentados pela precipitação bruta no local deste ensaio foram também ligeiramente superiores aos encontrados por Cortez (1996) na Carrasqueira (Porto Alto) e em Pegões, os quais foram respectivamente de  $8,75 \mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$  e  $11,34 \mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$  para o  $\text{Ca}^{2+}$ ; de  $4,8 \mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$  e  $5,19 \mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$  para o  $\text{Mg}^{2+}$  e de  $5,04 \mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$  e  $7,34 \mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$  para o  $\text{K}^+$ . No caso do sódio os valores foram da mesma ordem de grandeza, com concentração de  $78,23 \mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$  na Carrasqueira e  $80,07 \mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$  em Pegões. A posição relativa da concentração destes catiões neste estudo foi semelhante à descrita por aquele autor, correspondendo ao  $\text{Na}^+$  e ao  $\text{Ca}^{2+}$  a apresentarem as concentrações mais elevadas.

As concentrações de catiões básicos no estudo vertente foram, por outro lado, bastante próximas das encontradas por Teixeira (1993) em Coimbra e por Portela & Pires (1995) na região de Trás-os-Montes, sendo  $\text{Ca}^{2+}$  o catião que em tais casos apresenta concentração mais elevada.

Posições relativas dos catiões básicos, como as encontradas por estes autores são características de locais afastados mais de 50 km da costa (Edmonds et al. 1991), pelo que seria de esperar padrão semelhante no nosso local de estudo. No entanto, dada a importância dos valores registados para o sódio na precipitação bruta da herdade da Mitra, podemos aceitar que a influência marítima exercerá a sua acção nesta região do país, até locais mais distanciados do mar do que os referidos 50 km.

Quanto aos componentes do azoto mineral, verificamos neste caso, que o amónio apresenta valores de concentração muito superiores aos observados por Cortez (1996), enquanto o nitrato apresenta concentração semelhante. Se considerarmos, no entanto, que o valor da mediana encontrado neste estudo para o amónio foi de  $2,69 \mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$  e que o valor médio da concentração foi muito influenciado pela concentração extremamente elevada de duas das datas de amostragem, correspondentes a situações relativamente anómalas, como sejam o termo de um período relativamente prolongado de ausência de precipitação numa delas e a ocorrência de uma trovoada no estio, podemos considerar que a concentração deste catião seguiria um padrão semelhante ao encontrado por Cortez (1996) na Carrasqueira (Porto Alto) e em Pegões.

A concentração de cloro na precipitação bruta registada na herdade da Mitra, foi inferior à observada por Cortez (1996) ( $102,02$  e  $108,08 \mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$ ) e menos de metade da encontrada por Teixeira (1993) ( $213,4 \mu\text{mol}_c \text{ l}^{-1}$ ) na zona de Coimbra. Aquela concentração foi, pelo contrário, muito superior à encontrada em estudos semelhantes realizados em três locais de Espanha, dois dos quais situados

relativamente próximos do mar (< 50 km), a qual variou entre 29,5 e 46,57  $\mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$  (Rodá *et al.*, 1990; Bellot & Escarre, 1991 e Moreno *et al.*, 1994).

Quanto aos restantes aníones, o  $\text{PO}_4^{3-}$  e o  $\text{SO}_4^{2-}$ , os valores registados da respectiva concentração foram superiores aos referidos por Cortez (1996) os quais foram de 0,34 e 0,09  $\mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$  para o fosfato e de 16,18 e 14,37  $\mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$  para o sulfato, na Carrasqueira (Porto Alto) e em Pegões. O valor de concentração de sulfato foi, no entanto, menor do que o valor referido por Teixeira (1993) para a região de Coimbra (88,75  $\mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ), bem como do que aqueles observados nos trabalhos de Bellot & Escarre (1989, 1991) para a zona de Tarragona em Espanha (79,79 e 72,29  $\mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ). Em Marrocos, Gauquelin *et al.* (1992) refere, pelo contrário, um valor de concentração de  $\text{PO}_4^{3-}$  bastante superior ao registado neste trabalho (51,74  $\mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ), enquanto o indicado para a concentração de  $\text{SO}_4^{2-}$  (41,67  $\mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}$ ) foi inferior.

Ainda no que se refere à precipitação bruta, o estabelecimento de correlações negativas entre as quantidades desta precipitação e os valores das concentrações de  $\text{Na}^+$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , justificam-se pelo efeito de concentração, uma vez que a existência de reduzidas quantidades de iões na baixa atmosfera, dará lugar a uma maior concentração quanto menores forem a quantidade e a duração das precipitações (Attiwill, 1966). O facto de, na sequência de períodos de ausência de precipitação, os valores de concentração iônica surgirem geralmente elevados pode ser explicado pela existência de partículas de poeira, em grande número, na baixa atmosfera (Pritchett & Fisher, 1979).

Verificou-se no estudo presente um aumento generalizado das concentrações dos iões após a precipitação bruta atravessar a copa da árvore, o qual se reflectiu nos elevados valores de concentração iônica registados na precipitação sob-coberto e no escorramento ao longo do tronco. Este enriquecimento é atribuído à ocorrência de processos de lavagem da deposição seca retida pela árvore, principalmente para o Na e o Cl e o S; de processos de lixiviação no caso do K; e de processos de troca catiónica no que toca ao Ca e ao Mg (Tukey, 1970; Lovett & Lindberg, 1984; Baker *et al.* 1985; Attiwill & Leeper, 1987; López *et al.*, 1989; Rodá *et al.*, 1990; Khanna & Ulrich, 1991 e Robson *et al.* 1994).

Os resultados deste trabalho corroboram aqueles apresentados por Rodá *et al.* (1990) e por Bellot & Escarre (1991) em trabalhos realizados com a mesma espécie

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *C. rotundifolia*

no Sul de Espanha particularmente para o potássio e para o cálcio, no referente aos catiões, e para o cloro e o sulfato nos aníones.

A tendência, registada neste estudo, das concentrações da precipitação sob-coberto apresentarem um aumento significativo no caso do  $\text{Ca}^{2+}$  e do  $\text{K}^+$ , foi também observada por diversos autores em trabalhos da mesma natureza com espécies diversificadas (Calvo de Anta et al., 1979 Stottlemeyer & Hanson, Jr., 1989; Edmonds et al., 1991; Domingo et al., 1994; Moreno et al., 1994; Helmisaari, 1995).

Comparando os valores observados neste estudo com aqueles observados noutras espécies em trabalhos realizados no nosso país, verifica-se que a concentração dos catiões de troca, do azoto mineral, do fosfato, do cloreto e do sulfato são superiores às encontradas por Cortez (1996) na precipitação sob-coberto recolhida em eucaliptal. Aqueles valores foram também mais altos do que os determinados na mesma precipitação, mas recolhida em povoamento extreme de pinheiro bravo (Cortez, 1996), excepto no caso do cloreto que apresentou valores de concentração semelhantes.

Os valores de concentração dos diferentes iões registados no nosso estudo foram também superiores aos encontradas por Portela & Pires (1995) na precipitação sob-coberto recolhida em povoamento de castanheiro na região de Trás-os-Montes, embora o valor de concentração registrado para o fosfato seja mais consentâneo com aquele que se observou no presente estudo.

Confrontando os valores de concentração em iões, obtidos neste estudo em azinheiras isoladas, com os observados num trabalho realizado também com árvores isoladas de *Juniperus thurifera* em Marrocos por Gauquelin et al. (1992), verificou-se que a precipitação sob-coberto, no caso da azinheira, apresentou valores de concentração inferiores para o  $\text{Ca}^{2+}$ , para o  $\text{Mg}^{2+}$  e para o  $\text{K}^+$ , no respeitante aos catiões.

No escorrimento ao longo do tronco registou-se, durante a realização do presente trabalho, um acréscimo de concentração dos iões em relação à precipitação bruta, ainda mais acentuado do que o verificado na precipitação sob-coberto, com o cálcio e o potássio a apresentarem os valores de concentração mais elevados. Esta tendência não correspondeu à observada por Bellot & Escarre (1991), num trabalho já referido, na mesma espécie em que o sulfato foi o ião com concentração mais elevada, embora o cálcio e o potássio fossem aqueles que apresentavam concentração mais elevada ao nível dos catiões.

Comparando os valores de concentração iônica neste componente do ciclo de nutrientes em azinheiras isoladas, com os registados no trabalho efectuado no nosso país em eucaliptal (Cortez, 1996) constatou-se que, à excepção do cloro, todos os iões apresentavam concentrações superiores. Já no que se refere à comparação com os valores registados em pinhal, a vantagem apenas se verificava no caso do  $\text{Ca}^{2+}$ , do  $\text{Mg}^{2+}$ , do  $\text{K}^+$  e do  $\text{PO}_4^{3-}$ .

A mesma comparação, mas considerando os dados de Portela & Pires (1995) referentes ao castanheiro na região de Trás-os-Montes, mostrou valores mais elevados na azinheira em todos os parâmetros determinados.

As concentrações dos diferentes iões observadas no presente trabalho, foram superiores às registadas em trabalhos de características análogas e realizados igualmente em árvores isoladas, de *Juniperus thurifera* (Gauquelin et al., 1992) e de faia (Gersper & Holowaychok, 1970), excepto no caso do amónio e do fosfato para a primeira das espécies referidas.

A diferenciação das concentrações iônicas verificada entre a precipitação bruta, a precipitação sob-coberto e o escorrimento ao longo do tronco, observada neste estudo foi bastante evidente, tendo sido mesmo superior à registada noutros estudos realizados em azinheiras (Rodá et al., 1990; Bellot & Escarre, 1991), em que as taxas de enriquecimento das concentrações foram geralmente inferiores.

Quando se procedeu à confrontação desta tendência com a ocorrida nos trabalhos de Cortez (1996) no eucaliptal e no pinhal, observou-se que ao nível do escorrimento ao longo dos troncos os enriquecimentos verificados na azinheira deixaram de ser tão evidentes, principalmente em relação ao pinheiro, com as taxas de enriquecimento a serem apenas superiores no caso do potássio e do nitrato.

Em relação ao castanheiro (Portela & Pires, 1995), pelo contrário, a azinheira apenas apresentou taxa de enriquecimento inferior, para o fósforo, e unicamente na precipitação sob-coberto.

Esta preeminência verificada no enriquecimento das concentrações, principalmente ao nível da precipitação sob-coberto, pode dever-se ao facto de se ter trabalhado com uma árvore isolada de grande porte e com uma área de copa proporcionalmente elevada, bem como à ocorrência de fenómenos de escorrimento ao longo do tronco ao nível da copa, devido à conformação induzida a esta por podas sucessivas, as quais criaram ramos de diâmetro apreciável capazes de reproduzir

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

esse fenómeno,. Esta hipótese necessita de ser confirmada por estudos mais aprofundados que ponham em evidência a existência do efeito da estrutura da copa na variação química da precipitação sob-coberto (Robson, et al., 1994).

Outra hipótese que necessita de ser comprovada posteriormente é a de atribuir a diminuição verificada na concentração do amónio no escorrimeto ao longo dos troncos, em relação á precipitação sob-coberto, à acção da flora que coloniza os ramos grossos e o tronco, conforme é sugerido por alguns autores (Pritchett & Fisher, 1979).

As características da precipitação bruta, mas principalmente as reveladas pela precipitação sob-coberto e pelo escorrimento ao longo do tronco, assumirão particular importância na distribuição dos elementos ao solo (Wolfe et al. 1987; Kretinin, 1993 e Seiler & Matzner, 1995).

A precipitação sob-coberto apresentou uma certa homogeneidade, não se verificando grandes variações quer com a distância ao tronco quer com a orientação no terreno. Este facto poderá ser devido à rigidez do sistema instalado cujos objectivos são diferentes daqueles que eram os nossos. Esta relativa homogeneidade da precipitação sob-coberto foi também encontrada para a mesma espécie por Escudero et al. (1985), nas "dehesas" espanholas.

O escorrimento ao longo do tronco, dada a sua elevada concentração iónica e as relativamente elevadas quantidades de água devolvidas ao solo em relação à sua reduzida área de influência, irão ao longo do tempo, provocar uma diferenciação nas características do solo na zona envolvente do tronco, tal como é referido por diversos autores (Gersper & Holowaychok, 1970; Calvo de Anta & Viqueira, 1979; Ryan & McGarity, 1983; Crampton, 1984 e Kretinin, 1993).

As diferenças verificadas entre as soluções que atingiram o solo, principalmente considerando os valores de potássio que ocorreram na precipitação sob-coberto e no escorrimento ao longo dos troncos, poderão em parte explicar as diferenciações registadas neste estudo quanto às características físico-químicas dos solos, nomeadamente nos teores de potássio, de azoto e de carbono sob e fora da acção da copa.

No entanto, como não dispomos para o local de estudo dos dados referentes à folhada, considerada por Zinke (1962) como tendo um papel primordial na variabilidade apresentada pelas características do solo com a distância ao tronco da árvore, e considerando ainda que em zona próxima à das parcelas experimentais

foram recolhidas 278,2 g m<sup>-2</sup> de folhada sob a copa da azinheira e 336,7 g m<sup>-2</sup> no limite da projecção da copa<sup>9</sup>, durante o período de Novembro de 1996 a Agosto de 1997, é difícil avaliar qual o contributo efectivo da precipitação na diferenciação das referidas características do solo. Há ainda que considerar o efeito exercido pela vegetação herbácea e arbustiva que existe fora e sob a projecção da copa das árvores nas características físico-químicas do solo (Escudero *et al.* 1985).

A solução de solo cobriu apenas um curto período de estudo, pelo que não é lícito extrair grandes tendências do seu comportamento. No entanto, e ao longo do período de amostragem esta solução caracterizou-se por uma elevada variabilidade na generalidade dos parâmetros determinados.

Um facto a salientar, embora com um carácter de reserva, é o de que a dinâmica do azoto na solução do solo pode influenciar os valores do pH, quer na solução de solo quer no próprio solo, nomeadamente pela passagem do azoto a formas nítricas com carácter acidificante (Khanna & Ulrich, 1991; Montagnini *et al.*, 1991 e Madeira & Ribeiro, 1995).

De modo a tornar mais credíveis esta e outras tendências da solução do solo, vai ser necessária obtenção de dados mais fiáveis que implicam um período de recolha de dados mais longo, possivelmente durante dois ou três anos.

A mesma consideração é aplicável para as recolhas de precipitação, principalmente quanto à precipitação sob-coberto, no que diz respeito à sua distribuição espacial de modo ser melhor compreendida a estrutura da distribuição de elementos sob a copa da árvore devido à acção da conformação da copa.

---

<sup>9</sup> Comunicação pessoal da Dra. Celeste Sá.



## **5 . CONCLUSÕES**

As características apresentadas pela precipitação bruta foram similares às encontradas em outros locais do nosso país.

A precipitação sob-coberto caracterizou-se por um aumento da concentração dos diversos elementos químicos em relação à precipitação bruta, principalmente no caso do potássio, do cálcio, do cloro e do sulfato.

O escorramento ao longo do tronco foi também caracterizado por um grande aumento da concentração dos diversos elementos químicos em relação à precipitação bruta, bem como em relação à precipitação sob-coberto, principalmente no caso do cálcio, do potássio e do cloreto. Esta componente do estudo, embora representando uma pequena quantidade de volume em relação à área da copa, traduziu-se numa elevada quantidade de elementos químicos quando se considerou a sua possível área de influência.

Os teores do potássio, do carbono e do azoto do solo, diminuíram, no geral, com a distância ao tronco da árvore, bem como com a presença ou ausência da copa desta.

Verificou-se uma grande variabilidade temporal e espacial dos parâmetros caracterizadores da solução de solo, merecendo um realce especial a variabilidade de valores do pH, bem como a dos do nitrato.

Estudos mais aprofundados são necessários para se poder interpretar em maior profundidade e de uma forma mais completa o funcionamento do ciclo de nutrientes em árvores isoladas de *Quercus rotundifolia*.



## BIBLIOGRAFIA

### BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Adams, M. A. & Attiwill, P. M. (1986). Nutrient cycling and nitrogen mineralization in eucalypt forests of south-eastern Australia. I. Nutrient cycling and nitrogen turnover. *Plant and Soil*, 92: 319-339.
- 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.
- Aguiar, F. B. & Grilo, J. T. (1975). *Carta de Solos da Herdade da Mitra*. Universidade de Évora, Évora (n/publicado).
- Alcock, M. R. & Morton, A. J. (1981). The sulphur content and pH of rainfall and of throughfalls under pine and birch. *Journal of Applied Ecology*, 18: 835-839.
- Alcock, M. R. & Morton, A. J. (1985). Nutrient content of throughfall and stem-flow in woodland recently established on heathland. *Journal of Ecology*, 73: 625-632.
- Attiwill, P. M. (1966). The chemical composition of rainwater in relation to cycling of nutrients in mature eucalyptus forest. *Plant and Soil*, 24: 390-406.
- Attiwill, P. M. & Leeper, G.W. (1987). *Forest Soils and Nutrient Cycles*. Melbourne University Press, Victoria.
- Baker, T. G., Hodgkiss, P. D. & Oliver, G. R. (1985). Accession and cycling of elements in a coastal stand of *Pinus radiata* D. Don in New Zealand. *Plant and Soil*, 86: 303-307.
- 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.
- Barbee, G. C. & Brown, K. W. (1986). Comparison between suction and free-drainage soil solution samplers. *Soil Science*, 141: 149-154.
- Bellot, J. & Escarre, A. (1989). Contribucion del quimismo del agua de lluvia, de la deposicion seca y la lixiviacion, sobre la quimica de los flujos de trascolacion y escorrentia cortical en el encinar mediterraneo. *Options Méditerranéennes-Série Séminaires*, 3: 211-214.
- 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.

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

- 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.
- Bremner, J. M. & Mulvaney, C. S. (1982). nitrogen - total. In A. L. Page, R. H. Miller & D. R. Keeney (Eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, Agronomy Monograph nº. 9 (2nd. Edition), pp. 595-624. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Callaway, R. M. & Nadkarni, N. M. (1991). Seasonal patterns of nutrient deposition in a *Quercus douglasii* woodland in central California. *Plant and Soil*, 137: 209-222.
- Calvo de Anta, R. M., Paz Gonzalez, A. & Diaz-Fierros Viqueira (1979). Nuevos datos sobre la influencia de la vegetación en la formación del suelo en Galicia. II. Aportes de elementos por lavado de cubierta y tronco. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 38: 1675-1691.
- Calvo de Anta, R. M. & Diaz-Fierros Viqueira (1981) Consideraciones acerca de la acidificación de los suelos de la zona humeda española a través de la vegetación. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 40: 411-425.
- Capelo, J. H. (1996). Origem e diferenciação das paisagens florestais do Baixo Alentejo. *Revista Florestal*, Vol. IX, nº 3, pp. 72-81.
- Cappellato, R. & Peters, N. E. (1995). Dry deposition and canopy leaching rates in deciduous and coniferous forests of the Georgia Piedmont: na assessment of a regression model. *Journal of Hydrology*, 169:131-150.
- Cardoso, J. C. (1974). A Classificação dos Solos de Portugal - nova versão. *Boletim de Solos do S.R.O.A.*, 17: 14-46.
- Carvalho, R. A. C. & Marques, A. M. B. (1989). Vigilância das características físicas e químicas da água de precipitação em Portugal. Documento apresentado no Colóquio "Clima e Ambiente", Direcção Geral dos Recursos Naturais, Lisboa.
- 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.
- Cascón, M. R. G.; Arias, M. L.; Játiva, M. S. & Gallego, M. T. M. (1994). Balance de entradas/salidas de cationes en una pequeña cuenca forestal de *Pinus sylvestris* en la sierra de Guadarrama. *Ecolgia*, 8: 157-166.
- Cole, D. W. & Rapp, M. (1980). Elemental cycling in forest ecosystems. In D. E. Reichle (Ed.) *Dynamic Properties of Forest Ecosystems*, pp. 341-409. International Biological Programme, Cambridge University Press, Cambridge.
- Cortez, N. R. S. (1996). Compartimentos e ciclos de nutrientes em plantações de *Eucalyptus globulus* Labill. ssp. *globulus* e *Pinus pinaster* Aiton. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agronómica. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

## Bibliografia

- Crampton, C. B. (1984). Concentric zonation of gleyed soils under individual tree canopies in Southwestern British Columbia. *Geoderma*, 32: 329-334.
- D.G.F. (1992). *Portugal, País de Florestas*. D.G.F., Lisboa.
- Dancette, C. & Poulaïn, J. F. (1969). Influence of *Acacia albida* on pedoclimatic factors and crop yields. *African Soils*, 14: 143-184.
- De Leenheer, L. & Van Hove, J. (1958). Determination de la teneur en carbone organique des sols. Étude critique des méthodes titrimétriques. *Pédologie*, 8: 39-77.
- Dias, L. S. (1996). *Apontamentos de estatística aplicada à biologia*, Departamento de Biologia, Universidade de Évora, Évora.
- Domingo, F., Puigdefabregas, J., Moro, M. J. & Bellot, J. (1994). Role of vegetation cover in the biogeochemical balances of a small afforested catchment in southeastern Spain. *Journal of Hydrology*, 159: 275-289.
- 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.
- 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.
- Escudero, A.; Garcia, B.; Gomez, J. M. & Luis, E. (1985) The nutrient cycling in *Quercus rotundifolia* and *Quercus pyrenaica* ecosystems («dehesas») of Spain. *Acta OEcologica/OEcologia Plantarum*, 6(20): 73-86.
- Farrell, E. P. (1990). Aspects of nitrogen cycle in peatland and plantation forest ecosystems in western Ireland. *Plant and Soil*, 128: 13-20.
- 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.
- Forgeard, F.; Gloaguen, J. C. & Touffet, J. (1980). Interception des précipitations et apport au sol d'éléments minéraux par les eaux de pluie et les pluviolessivats dans une hêtraie atlantique et dans quelques peuplements résineux en Bretagne. *Annales des Sciences Forestières*, 37: 53-71
- Franco, J. do A. (1974). *Nova Flora de Portugal (Continente e Açores)*, Volume I *Lycopodiaceae - Umbelliferae*. Edição do autor, Lisboa.
- Franco, J. do A. (1984). *Nova Flora de Portugal (Continente e Açores)*, Volume II *Clethraceae - Compositae*. Edição do autor, Lisboa.
- 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.

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

- 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.
- 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. *Geoderma*, 66: 85-98.
- 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, K., Beier, C., Gundersen, P. & Rasmussen, L. (1995). Experimental manipulations of water and nutrient input to a Norway spruce plantation at Klosterhede, Denmark. III - Effects on throughfall, soil water chemistry and decomposition. *Plant and Soil*, 168-169: 623-632.
- Helmisaari, H.-S. (1995). Nutrient cycling in *Pinus sylvestris* stands in eastern Finland. *Plant and Soil*, 168-169: 327-336.
- Huber, A. W. & Oyarzun, C. E. (1990). Variaciones anuales en precipitación, escurrimiento e intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata*. *Turrialba*, 40: 503-508.
- Ignatova, N. (1995). Changes in crown leaching composition induced by a sudden increase in atmospheric deposition. A case study in South-Western Bulgaria. *Plant and Soil*, 168-169: 373-382.
- Joffre, R. & Rambal, S. (1988). Soil water improvement by trees in rangelands of southern Spain. *Acta Ecologica*, 9 (4): 405-422.
- Khanna, P. K. & Ulrich, B. (1991). Ecochemistry of temperate deciduous forests. In E. Röhrlig & B. Ulrich (Eds.) *Temperate Deciduous Forests. Ecosystems of the World* 7, pp. 121-163. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Klemmedson, J. O.; Meier, C. E.; Campbell, R. E. & Marx, D. B. (1983). Effect of stand composition and season on chemistry of throughfall and stemflow of ponderosa pine forests. *Forest Science*, 29: 871-887.
- Knops, J. M. H.; Nash III, T. H. & Schlesinger, W. H. (1996). The influence of epiphytic lichens on the nutrient cycling of an oak woodland. *Ecological Monographs*, 66: 159-179.
- Kretinin, V. M. (1993). Change in soil properties in the tree trunk zone of forest windbreak belts. *Eurasian Soil Science*, 25: 88-96.
- López, M<sup>a</sup> V.; Bellot, J. & Escarré A. (1989) Estimas mediante lavados secuenciales de la contribución de la deposición seca y lixiviación al aporte de nutrientes a un suelo forestal. *Options Méditerranéennes-Série Séminaires*, 3: 215-219.

- Lloyd, C. R. & Marques Fº, A. de O. (1988). Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in amazonian rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 42: 63-73.
- 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.
- Lucas, M. D. & Sequeira, E. M. (1976). Determinação do Cu, Mn, Fe, Ca, Mg, K e Na por espectrofotometria de absorção atómica e fotometria de chama. *Pedologia*, 11: 163-169.
- Madeira, M. & Ribeiro, C. (1995). Influence of leaf litter type on the chemical evolution of a soil parent material (sandstone). *Biogeochemistry*, 29: 43-58.
- 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.
- McColl, J. G. (1981). Trace elements in the hydrologic cycle of a forest ecosystem. *Plant and Soil*, 62: 337-349.
- Montagnini, F., Haines, B. & Swank, W. T. (1991). Soil-solution chemistry in black locust, pine/mixed-hardwoods and oak/hickory forest stands in the southern Appalachians, U.S.A. *Forest Ecology and Management*, 40: 199-208.
- Moreno, G., Gallardo, J. F. & Cuadrado, S. (1994). Deposición atmosférica de bioelementos y su modificación por la cubierta vegetal en bosques de Quercus pyrenaica de la Sierra de Gata (Salamanca). In *XI International Symposium on Environmental Biogeochemistry*, Salamanca, 27/9 - 1/10/93, pp. 201-215. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Castilla y Leon, Valladolid.
- Murphy, J. & Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31-36.
- O'Connell, A. M. (1985). Nutrient accessions to the forest floor in karri (*Eucalyptus diversicolor* F. Muell.) forests of varying age. *Forest Ecology and Management*, 10: 283-296.
- Pape, Th.; Van Breemen, N. & Van Oeveren, H. (1989). Calcium cycling in na oak-birch woodland on soils of varying  $\text{CaCO}_3$  content. *Plant and Soil*, 120:253-261.
- Peterson, D. L. & Rolfe, G. L. (1982). Precipitation components as nutrient pathways in floodplain and upland forests of central Illinois. *Forest Science*, 28:321-332.
- Portela, E. & Pires, A. L. (1995). Nutrient deposition and leaching by rainwater in low and intensively managed chestnut groves. In *Proceedings of the Conference on Erosion and Land Degradation in the Mediterranean*, Universidade de Aveiro, 14 a 18 de Junho, pp. 307-317.

## Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

- Potter, C.S. (1992) Stemflow nutrient inputs to soil in a successional hardwood forest. *Plant and Soil*, 140: 249-254.
- 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.
- Pritchett, W. L. & Fisher, R. F. (1987). *Properties and Management of Forest Soils*. Second edition. John Wiley & Sons, New York.
- 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.
- Robson, A. J., Neal, C., Ryland, G. P. & Harrow, M. (1994). Spatial variations in throughfall chemistry at the small plot scale. *Journal of Hydrology*, 158: 107-122.
- Rocha, F. (1996). *Nomes vulgares de plantas existentes em Portugal*. Edição Especial, M. A. D. R. P., Lisboa.
- Rodà, F.; Avila, 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.
- Rolfe, G. L.; Akhtar, M. A. & Arnold, L. E. (1978). Nutrient distribution and flux in a mature oak-hickory forest. *Forest Science*, 24: 122-130.
- 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.
- Salgueiro, T. A. (1973). A contribuição das azinheiras e dos sobreiros para a fertilidade
- 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.
- Shepherd, K. R. (1986). *Plantation Silviculture*. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht.
- Sokal, R. R. & Rohlf, F. J. (1995). *Biometry*, Third edition, W. H. Freeman and Company, New York.
- Sprent, P. (1993). *Applied nonparametric statistical methods*, Second edition, 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.
- 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.

## Bibliografia

- Tabatabai, M. A. & Basta, N. T. (1991). Ion Chromatography. In Keith A. Smith (Ed.) *Soil Analysis, Modern Instrumental Techniques*, Second edition, pp. 229-259. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Tajchman, S. J.; Keys, R. N. & Kosuri, S. R. (1991). Comparison of pH, sulfate and nitrate in throughfall and stemflow in yellow-poplar and oak stands in north-central West Virginia. *Forest Ecology and Management*, 40: 137-144.
- Teixeira, S. C. M. (1993). *Contribuição para o estudo da constituição da água da chuva em azoto e enxofre*. Trabalho de fim de Curso de Produção Agrícola, Escola Superior Agrária de Coimbra, Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra.
- Tukey, Jr., H. B. (1970). The leaching of substances from plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 21: 305-324.
- Tutin, T. G., Heywood, V. H., Burges, N. A., Moore, D. M., Valentine, D. H., Walters, S. M. & Webb, D. A., Eds. (1990). *Flora Europaea*. Volume IV, First edition, Cambridge.
- Tutin, T. G., Heywood, V. H., Burges, N. A., Moore, D. M., Valentine, D. H., Walters, S. M. & Webb, D. A., Eds. (1991). *Flora Europaea*. Volume V, First edition, Cambridge.
- Tutin, T. G., Heywood, V. H., Burges, N. A., Moore, D. M., Valentine, D. H., Walters, S. M. & Webb, D. A., Eds. (1992). *Flora Europaea*. Volume III, First edition, Cambridge.
- Tutin, T. G., Heywood, V. H., Burges, N. A., Moore, D. M., Valentine, D. H., Walters, S. M. & Webb, D. A., Eds. (1996). *Flora Europaea*. Volume I, Second edition, Cambridge.
- Tutin, T. G., Heywood, V. H., Burges, N. A., Moore, D. M., Valentine, D. H., Walters, S. M. & Webb, D. A., Eds. (1996<sub>a</sub>). *Flora Europaea*. Volume II, First edition, Cambridge.
- Van Breemen, N.; Mulder, J. & Van Grinsven, J. J. M. (1987). Impacts of acid atmospheric deposition on woodland soils in the Netherlands: II. Nitrogen transformations. *Soil Science Society of America Journal*, 51: 1634-1640.
- Velhorst, 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.
- Voigt, G. K. (1960). Distribution of rainfall under forest stands. *Forest Science*, 6: 2-10.
- Watanabe, F. S. & Olsen, S. R. (1965). Test of an ascorbic acid method for determining phosphorous in water and NaHCO<sub>3</sub> extracts from soil. *Soil Society of America Proceedings*, 29: 677-678.
- 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.

Sistema de Ciclo de Nutrientes em Árvores Isoladas de *Q. rotundifolia*

Zinke, P. J. (1962). The pattern of influence of individual forest trees on soil properties. *Ecology*, 43 (1): 130-133.

**BIBLIOGRAFIA CITADA MAS NÃO CONSULTADA**

Walter, H. & Lieth, H. (1960). *Klimadiagramm - Weltatlas*. Jena, Fischer Verlag.

## ANEXOS

**Anexo I – Dados climatológicos da Estação Meteorológica ÉVORA/Mitra para o período de 1941-70 (Reis & Gonçalves, 1985)**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Prec.Med. (mm)	118,4	97,1	100,1	63,6	39,9	25	3,2	2,6	29,8	53,7	99,3	68,1	700,8
Nº de dias > 0,1 mm	10	9	10	8	6	3	0	1	3	6	9	8	73
Nº de dias > 10,0 mm	4	3	4	2	1	1	0	0	1	2	0	3	21
Temp. Méd. Diária (° C)	8,2	9,1	11,8	13,9	17	20,6	23,0	23	20,1	17	12,1	8,8	15,4
Média da Temp. Máx.(° C)	13,4	14,5	17,6	20,2	24,1	28,7	32	31,8	27,5	23,4	17,4	13,9	22
Média da Temp. Mín.(° C)	3,1	3,7	5,9	7,6	10	12,5	14,1	14,2	12,7	10,6	6,8	3,7	8,7
Temp. Máx. Abs.(° C)	20,5	22	29	30,5	37,2	47,5	44	41,5	40	37	29	21,2	47,5
Temp. Mín. Abs.(° C)	-7,1	-7,1	-3,5	0	1,5	4	6	5	1	1,2	-1,7	-6,6	-7,1
Nº de dias temp. > 25° C	0	0	0,7	2,7	12,9	21,9	29,6	29,2	21,3	11,2	0,6	0	130,1
Nº de dias temp. < 0° C	5,1	3	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0,3	4,4	13,5
H. R. Ar 9 h.	83	77	76	72	70	64	56	57	62	72	82	81	71
H. R. Ar 18 h.	81	76	72	63	63	54	50	53	56	69	81	73	66
Insolação Total (h.)	157,6	187,2	171,7	269,5	309,0	332,7	387,2	352,0	241,3	216,4	173,7	162,0	2960,3
Nebulosidade (0-10) às 9h.	6	5	6	5	5	4	2	2	3	5	5	5	4
Nebulosidade (0-10) às 18h.	7	5	6	5	5	3	1	2	3	5	6	5	4
Nº de dias Neb. (N ≥ 8)	14	9	13	10	9	6	2	2	5	9	12	12	103
Nº de dias Neb. (N ≤ 2)	10	11	8	11	11	14	21	20	16	11	9	11	153
Evaporação	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

**Anexo II – Balanço Hídrico da Herdade da Mitra segundo o método de Thornthwaite-Mather, considerando um valor de capacidade utilizável do solo de 100 mm .**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Temp. Méd. Diária (° C)	8,2	9,1	11,8	13,9	17	20,6	23	23	20,1	17	12,1	8,8	15,4
Índice calórico	2,12	2,48	3,67	4,70	6,38	8,53	10,08	10,08	8,22	6,38	3,81	2,35	68,8
Evapotranspiração não aj.	21	25	38	49	66	90	107	107	86	67	39	24	
Factor de ajustamento	0,85	0,84	1,03	1,1	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	0,96	0,84	0,83	
Evapot. Poten. (mm)	18	21	39	53	82	112	135	126	91	64	33	20	794
Precipitação (mm)	118	97	100	64	40	25	3	3	30	54	99	68	701
Var. Arm. de Água Util. (mm)	0	0	0	0	-42	-58	0	0	0	0	+66	+34	
Evapot. Real (mm)	18	21	39	53	82	83	3	3	30	54	33	20	439
Deficiência de Água (mm)	0	0	00	0	0	29	132	123	61	10	0	0	355
Excesso de Água (mm)	100	76	61	11	0	0	0	0	0	0	0	14	262

