

Estudo da precipitação oculta em dois tipos de vegetação da ilha da Madeira

FIGUEIRA, C.;

Investigador, Centro de Estudos da Macaronésia da Universidade da Madeira, Campus Universitário da Penteada 9000-390 Funchal, Portugal; +351 291705380, fax: +351 291705399; e-mail: celso_figueira@hotmail.com

PRADA, S.;

Professora Auxiliar, Dept. de Biologia e Centro de Estudos da Macaronésia da Universidade da Madeira, Campus Universitário da Penteada 9000-390 Funchal, Portugal; +351 291705380, fax: +351 291705399; e-mail: susana@uma.pt

SEQUEIRA, M.;

Professor Auxiliar, Dept. de Biologia e Centro de Estudos da Macaronésia da Universidade da Madeira, Campus Universitário da Penteada 9000-390 Funchal, Portugal; +351 291705380, fax: +351 291705399; e-mail: sequeira@uma.pt

PERESTRELO, A.;

Técnica Superior, Investimentos e Gestão da Água, S.A. e Centro de Estudos da Macaronésia da Universidade da Madeira, Rua dos Ferreiros 148-150 9000-082 Funchal, Portugal; +351 291201020; e-mail: alexandra@iga.pt

SILVA, M. O.

Professor Catedrático, Dept. de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa – GeoFCUL, Edifício C6 – 2º Piso Campo Grande 1749-016 Lisboa, Portugal; e-mail: mosilva@fc.ul.pt

RESUMO

Uma das características do clima da ilha da Madeira é a existência de uma espessa e frequente cobertura nebulosa de origem orográfica. Dado que cerca de 2/3 da sua superfície se encontra coberta por vegetação, assume-se que a recarga na ilha é complementada por uma importante parcela de água proveniente dos nevoeiros sob a forma de precipitação oculta. Este trabalho tem como objectivo aprofundar o conhecimento deste fenómeno no interior de duas florestas indígenas da ilha e quantificar o valor do *input* hídrico do nevoeiro no sistema. No urzal a intercepção vegetal foi 30,4% da precipitação bruta, enquanto que o valor da precipitação oculta foi de 2,2 mm/dia de nevoeiro. Na Laurissilva, durante o Verão a intercepção vegetal foi de 66,1% da precipitação bruta e a precipitação oculta foi de 2,7 mm/dia de nevoeiro. No Inverno a intercepção vegetal foi 44% e a precipitação oculta 1,6 mm/dia de nevoeiro.

Palavras-chave: precipitação oculta, urzal de substituição, laurissilva do til, *input* hídrico do nevoeiro, *throughfall*

1 – INTRODUÇÃO

A presença e disponibilidade de água numa dada região, tem sido, desde sempre, da maior importância para a fixação e desenvolvimento das populações humanas. Com mais de 240 000 habitantes, são consumidos anualmente na ilha da Madeira, cerca de 185 000 000 m³ de água proveniente, na sua grande maioria, dos seus recursos subterrâneos (PRADA *et al.*, 2003). Torna-se, desta forma, pertinente o estudo dos processos directa ou indirectamente envolvidos na sustentação e condicionamento destes recursos.

Devido às suas características morfológicas, geológicas e climáticas, o planalto do Paul da Serra é considerado a principal zona de recarga da Madeira, sendo de inquestionável importância no abastecimento de água às populações da metade ocidental da ilha e de parte dos concelhos do Funchal e Câmara de Lobos, bem como na produção de energia hidroeléctrica (NASCIMENTO, 1990; PRADA, 2000).

Os trabalhos de PRADA (2000), PRADA e SILVA (2001) e PRADA *et al.* (2003), sugerem que a água proveniente da chuva, é insuficiente para assegurar a descarga subterrânea verificada na zona, assumindo-se que a recarga na ilha da Madeira é complementada por uma importante parcela de água proveniente dos nevoeiros sob a forma de precipitação oculta, isto é, a capacidade que a vegetação tem de, por um processo de impacto ou colisão, fazer precipitar as minúsculas gotículas de água existentes no nevoeiro e que na sua ausência se perderiam para a atmosfera. Este processo pode atingir em determinadas zonas altas da ilha, com condições atmosféricas favoráveis (Bica da Cana) e sob indivíduos de *Erica arborea* (cujas folhas possuem características muito favoráveis à captação das gotículas do nevoeiro), valores três vezes e meia superiores à precipitação média anual local (10 500 mm/ano *vs.* 3000 mm/ano, PRADA, 2000).

Inserido no projecto AQUAMAC – Técnicas e Métodos para a Gestão Sustentável da Água na Macaronésia, co-financiado pelo fundo comunitário INTERREG III-B, Madeira – Açores – Canárias, pretendeu-se com este trabalho contribuir para um melhor conhecimento do *input* hídrico proveniente dos nevoeiros captados pela Laurissilva do Til e Urzal de Substituição na encosta norte do Paul da Serra – Montado dos Pessegueiros.

A escolha deste tipo de vegetação prende-se com o facto da primeira representar a vegetação potencial da área dos nevoeiros e da segunda constituir uma etapa de sucessão da primeira actualmente com uma forte expressão devido à recuperação de áreas de Laurissilva destruídas por mão humana.

1.1 Caracterização climatológica

O clima na ilha da Madeira é, em grande medida, influenciado pela intensidade e localização do anticiclone subtropical dos Açores, tendo, no entanto, a configuração e orientação do relevo e a altitude um efeito de diferenciação climática local. O anticiclone é responsável pelo transporte de ar tropical marítimo subsidente, especialmente na parte oriental, onde os fenómenos de subsidência são frequentes e intensos e ocorrem os ventos de Nordeste (Alísios) na baixa troposfera, predominando durante todo o ano. O facto do relevo apresentar uma orientação perpendicular à direcção predominante do vento dá origem a que a temperatura e quantidade de precipitação à mesma cota mas em encostas com diferentes exposições aos ventos dominantes de Nordeste possam ser bastante diferentes.

Os valores da nebulosidade são mais altos na Madeira do que sobre o mar na região em que está situada, devido à formação de nuvens e nevoeiros orográficos: o ar húmido transportado pelo vento, ao encontrar a ilha (barreira montanhosa de orientação Este-Oeste) é forçado a subir, arrefecendo adiabaticamente e condensando em pequenas partículas que se encontram em suspensão na atmosfera (PRADA *et al.*, 2003) (Figura 1).

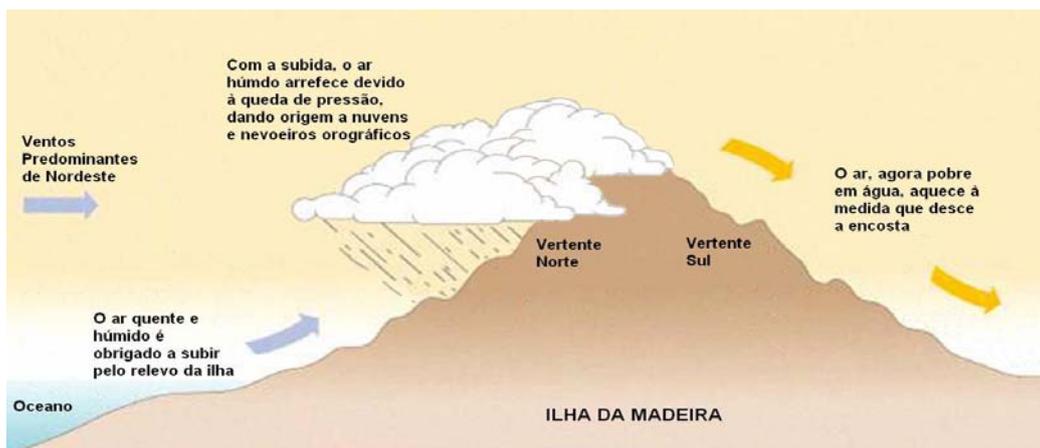


Figura 1 – Esquema do mecanismo de formação das nuvens e nevoeiros orográficos na Madeira.

Na Madeira os nevoeiros são quase exclusivamente orográficos, formando-se a barlavento da elevação, com tendência para se dissiparem a sotavento, sendo a variação anual da frequência pouco nítida. Atingem, na Bica da Cana (Paul da Serra), 235 dias/ano e no Pico do Areeiro (Maciço Central), 229 dias/ano (PRADA *et al.*, 2003). Ainda segundo os mesmos autores, a cobertura nebulosa fixa-se entre os 600 – 800m e os 1600m no Inverno, descendo mais abaixo no Verão. O seu conteúdo em água varia, segundo FRISCH *et al.* (1994), entre os 0,25 g/m³ no centro da nuvem e os 0,01 g/m³ na base e os 0,1 g/m³ no topo. É no interior deste *mar de nuvens* e na presença simultânea de vegetação que ocorre o fenómeno da precipitação oculta (Figura 2).



Figura 2 - O “mar de nuvens” na ilha da Madeira. Pico do Areeiro (esquerda); Fanal (direita)

Quanto à bioclimatologia, MESQUITA *et al.* (2004) distinguem na Madeira dois macrobioclimas – mediterrânico e temperado – cada qual dividido em vários intervalos – termotipos (regime de temperaturas) e ombrotipos (regime de precipitação).

1.2 Quantificando a precipitação oculta

Apesar da aparente importância da precipitação oculta nos processos hidrológicos da ilha, a sua quantificação torna-se difícil não só pela falta de instrumentação automática estandardizada, mas também pela falta de conhecimento sobre os vários mecanismos e condições de interceptação de nevoeiro em ambientes naturais (GONZALEZ, 2000).

Neste estudo utilizou-se o método de comparação entre os valores de precipitação sob a floresta e os valores de precipitação da chuva num ponto próximo a “céu aberto”.

Durante episódios de precipitação pluvial, precipitação oculta ou ocorrência simultânea de ambos, a água não chega ao solo de uma floresta de forma homogénea como numa área descoberta (BRUIJNZEEL, 2000). Segundo CROCKFORD e RICHARDSON (2000), a água reparte-se, de forma heterogénea, por três fracções (Figura 3):

- Intercepção vegetal, água que é retida pela vegetação e é evaporada durante ou após a ocorrência de precipitação;
- Escorrência dos troncos, água que é encaminhada para o solo através dos troncos ou ramos em contacto com o chão;
- *Throughfall*, a água que pode ter ou não estado em contacto com a vegetação e que cai no solo através dos seus variados componentes (ramos, folhas, etc.)

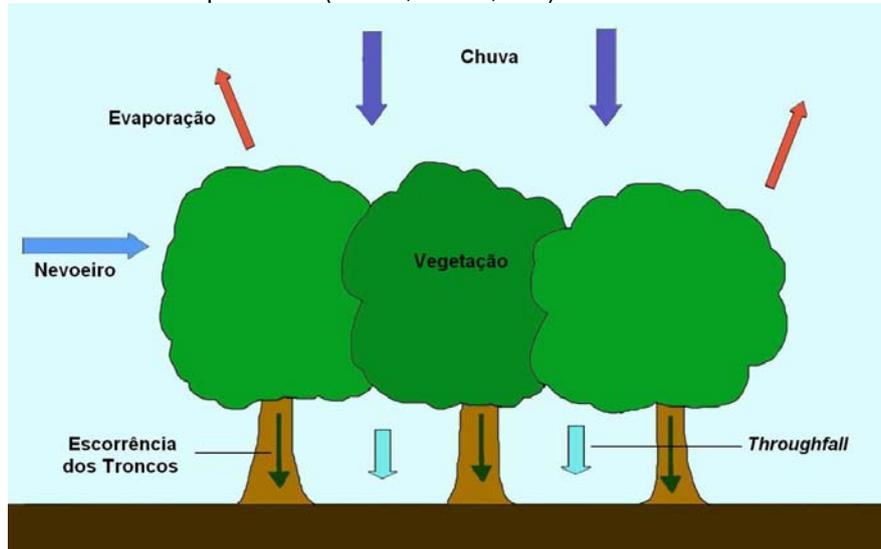


Figura 3 – Repartição da precipitação em intercepção vegetal (evaporação), throughfall e escorrência dos troncos numa floresta.

Esta repartição é geralmente expressa pela equação:

$$I = P_{bruta} - TF - SF \quad (1)$$

em que:

I – intercepção vegetal; (mm)

P_{bruta} – precipitação bruta medida no aparelho a “céu aberto”; (mm)

TF – *throughfall*; (mm)

SF – escorrência dos troncos; (mm)

À soma de TF e de SF dá-se o nome de precipitação líquida (P_{liq}), logo a equação (1) dá origem à fórmula:

$$I = P_{bruta} - P_{liq} \quad (2)$$

em que:

P_{liq} – precipitação líquida (mm)

Por motivos de ordem logística, neste estudo não foram medidos os volumes de escorrência dos troncos, considerando-se assim, o valor de *throughfall* igual à precipitação líquida.

Debaixo da copa de uma floresta, existe sempre intercepção que é influenciada pelo tipo de cobertura vegetal (como a capacidade de armazenamento da copa e sua variação com as estações e espécies, o índice de superfície da folha, ângulo e cobertura foliar; capacidade de armazenamento ao nível arbustivo e epifítico e hidrofobia das várias partes aéreas das plantas) e também por factores climáticos como a quantidade, intensidade e duração da chuva, velocidade e direcção do vento durante o episódio pluvial e a temperatura e humidade do ar (CROCKFORD e RICHARDSON, 2000). Devido a isso, uma estação em espaço aberto recebe, normalmente, maior quantidade de precipitação (precipitação bruta) que uma estação debaixo de vegetação (precipitação líquida), tendo a intercepção

vegetal, um valor positivo. No entanto, quando o valor de precipitação líquida é superior ao valor de precipitação bruta (intercepção vegetal de valor negativo), considera-se que a água adicional provém do nevoeiro interceptado pela copa (HOLDER, 2003).

A precipitação oculta não é, no entanto, exactamente igual à diferença entre a precipitação líquida e a bruta quando a primeira excede a segunda, uma vez que a evaporação e a armazenagem desta pela cobertura da floresta durante o processo de intercepção vegetal, não é tida em conta na equação, devido à grande dificuldade na sua quantificação. Assim sendo, o valor de precipitação oculta é subestimado (HOLDER, 2003), pois considera-se que apenas houve contributo da água do nevoeiro nos dias em que os valores de precipitação líquida superam os da precipitação bruta. Desta forma ignora-se o volume de precipitação oculta que possa estar presente nos dias em que o valor de intercepção vegetal é positivo, bem como o volume que compensou o valor da intercepção vegetal da chuva nos dias em que a intercepção vegetal foi negativa. Desta forma quantifica-se aquilo a que BRUINJZEEL (2000), chama de precipitação oculta líquida (aqui denominada precipitação oculta).

2 – METODOLOGIA

Na medição da precipitação foram utilizados udógrafos aerodinâmicos *Environmental Measurements Ltd.*, modelo *ARG100*, com um contador magnético digital *Data Taker 5* (*Data Electronics*, Austrália) montados num suporte de PVC.

Escolheram-se dois locais representativos das associações vegetais *Vaccinio padifolii* – *Ericetum maderinicola* (urzal de substituição) e *Clethra arborea* – *Ocoteo foetentis* (Laurissilva do Til). Estes denominaram-se estação *Urzal* e estação *Laurissilva*, respectivamente. A selecção do local experimental foi condicionada pelos limites de fixação da cobertura nebulosa e pela exposição aos ventos predominantes de Nordeste (Figura 4).

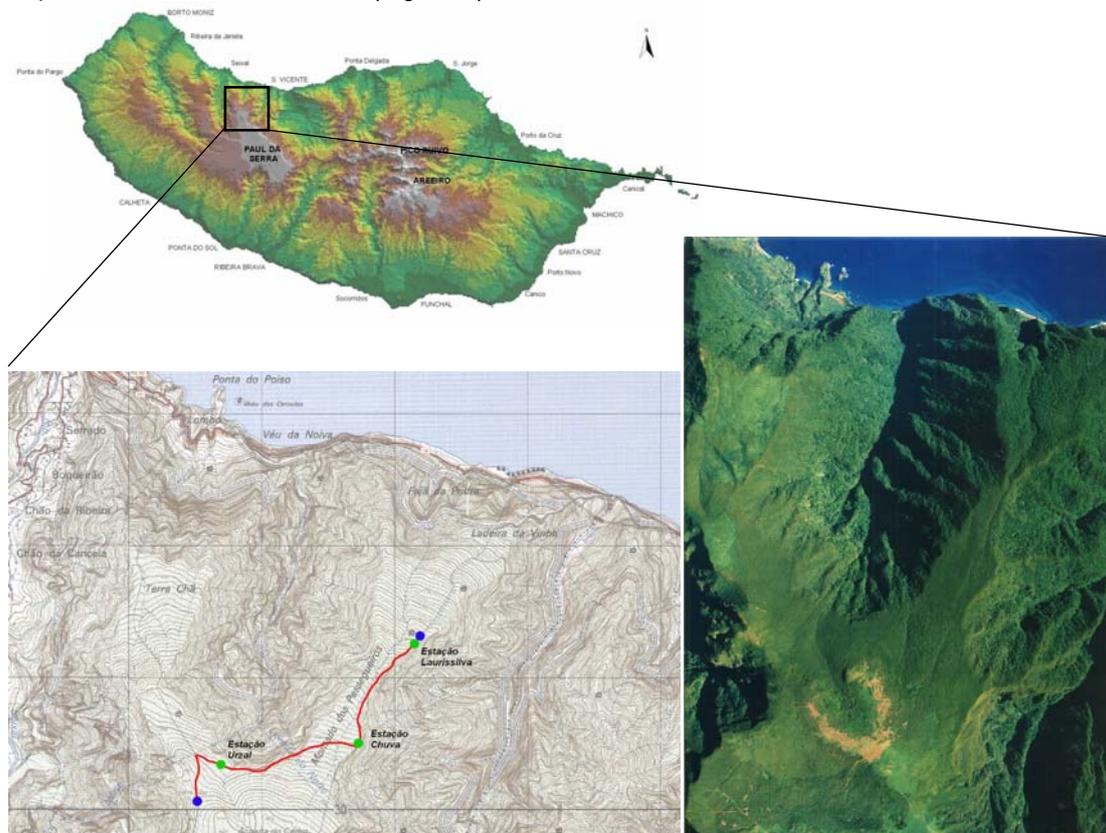


Figura 4 – Localização da área de estudo no contexto da ilha da Madeira (adaptado de Prada et al., 2003). Identificação do percurso, localização dos locais de montagem das estações udográficas e fotografia aérea da zona (fonte: IGeoE)

De forma a quantificar o *throughfall*, colocaram-se 2 udógrafos sob a vegetação de cada estação, sendo um colocado sob a zona mais densa de ramos e folhagem junto ao tronco de uma árvore, e outro sob a zona menos densa de convergência de ramos entre duas árvores. Pretendeu-se assim representar a heterogeneidade de exposição à precipitação do solo de uma floresta.

A estação *Urzal* (Figura 4) ficou situada a uma cota de 1385 m s.m., numa zona caracterizada pelo macrobioclima temperado, termótipo mesotemperado superior e ombrótipo hiperhúmido inferior. A estação *Laurissilva* (Figura 4) foi montada aos 1055 m s.m, também numa zona influenciada pelo macrobioclima temperado e por ombrótipo hiperhúmido inferior, mas de termótipo mesotemperado inferior. Os valores de cada estação foram obtidos através da média aritmética das contagens dos dois aparelhos em cada local.



Figura 4 – Estações: *Urzal* (esquerda) e *Laurissilva* (direita)

A estação de controlo, a que se deu o nome de *Chuva*, situou-se aos 1295 m s.m. de altitude, numa clareira exposta a Nordeste. O local foi escolhido por ser o único, ao longo do percurso entre as estações *Urzal* e *Laurissilva*, sem uma cobertura arbóreo-arbustiva que interferisse nas medições do aparelho. Consideraram-se os valores de precipitação obtidos por esta estação, como uniformes para toda a área.

A determinação dos valores de precipitação oculta foi feita com base na utilização da equação (2) para a interceptação vegetal.

Nos dias em que a interceptação vegetal foi negativa, considerou-se que ocorreu precipitação oculta e que o valor desta foi igual ao módulo de I . Através da média dos módulos da interceptação vegetal nesses dias (em que se considerava haver nevoeiro), deduziram-se os valores de *input* de precipitação oculta no ecossistema, segundo a fórmula:

$$P_{oculta} = \text{média } | \text{valor de } I \text{ nos dias em que é negativa} | \quad (3)$$

em que:

P_{oculta} – média da água do nevoeiro nos dias em que ocorre precipitação oculta (mm/dia de nevoeiro)

3 – RESULTADOS

A estação *Urzal* registou dados durante 394 dias, entre 21 de Maio de 2004 e 13 de Julho de 2005 (13 meses), ocorrendo uma falha de 25 dias entre 23 de Novembro e 17 de Dezembro de 2005, devido ao entupimento dos udógrafos. Durante este período ocorreram 69 dias com interceptação vegetal negativa (valor do *throughfall* superior ao da precipitação bruta) (Figura 6).

A precipitação bruta nesta estação foi de 1660 mm sendo o valor do *throughfall* de 1155,3 mm, o que corresponde a uma percentagem de interceptação vegetal de 30,4%. O volume total da precipitação oculta foi calculado a partir da água em excesso registada nos dias em que a interceptação vegetal foi negativa. Atingiu-se assim, um valor total de 153,4 mm de água proveniente da precipitação oculta, o que significa 2,22 mm/dia de nevoeiro e um *input* extra de 13,28% de água ao ecossistema (Quadro 1).

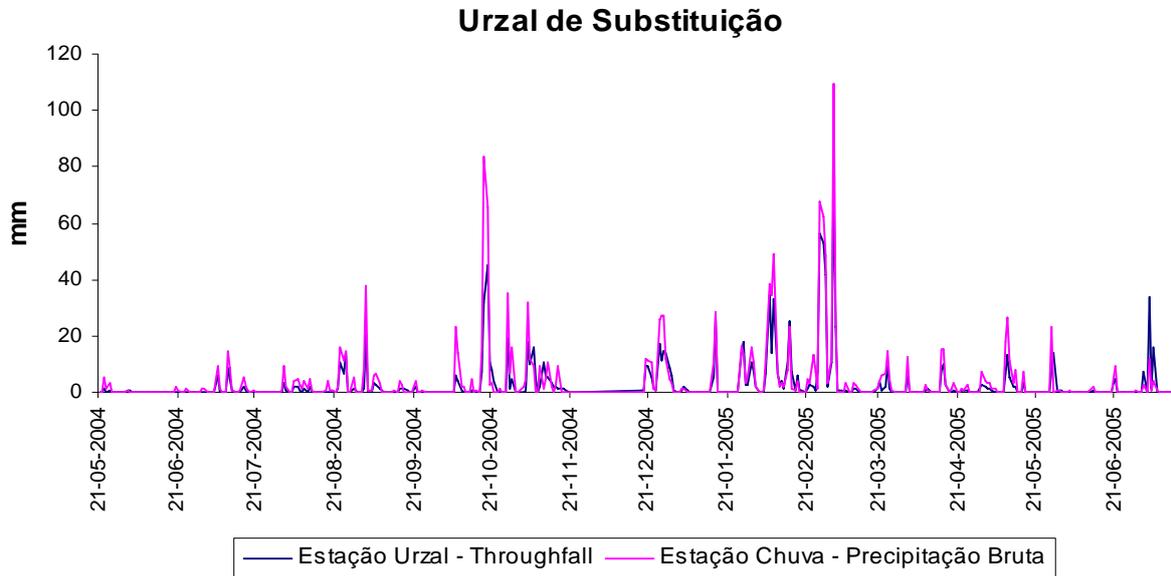


Figura 6 – Comparação entre precipitação bruta e *throughfall* na estação *Urzal*

A estação *Laurissilva*, devido a falhas nos aparelhos de medição, apenas registou dados durante 5 meses no Verão (153 dias entre 1 de Junho de 2004 e 31 de Outubro de 2004) e 3 meses no Inverno (97 dias entre 15 de Janeiro de 2004 e 21 de Abril de 2005). Durante o período de Verão, registaram-se 21 dias de interceptação vegetal negativa enquanto que no período de Inverno, os dias de nevoeiro foram 23 (Figura 7 e 8).

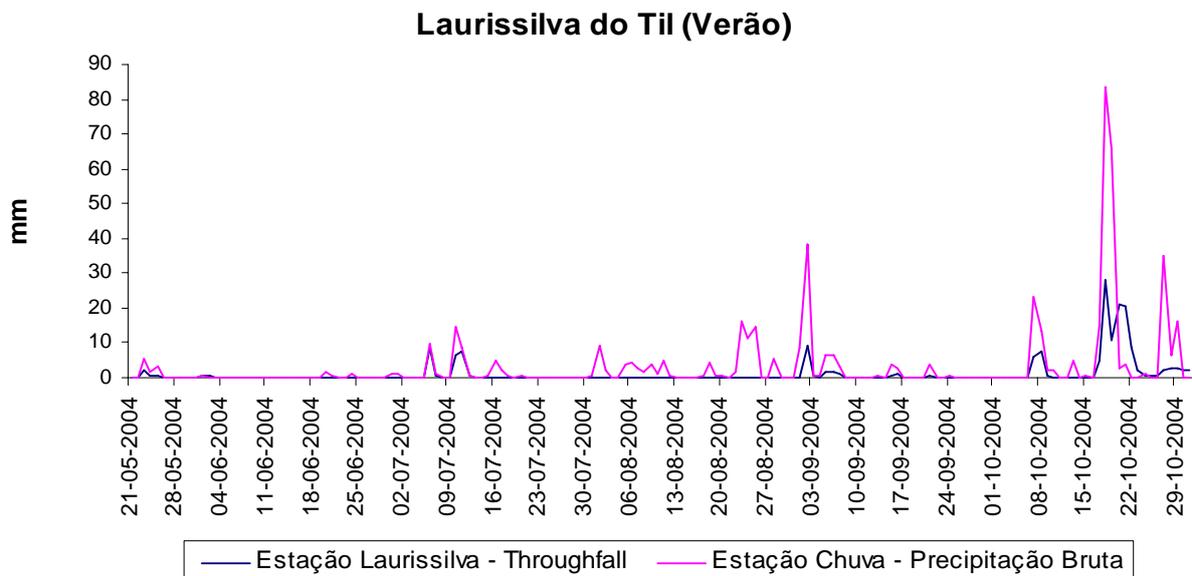


Figura 7 – Comparação entre precipitação bruta e *throughfall* na estação *Laurissilva* (Verão)

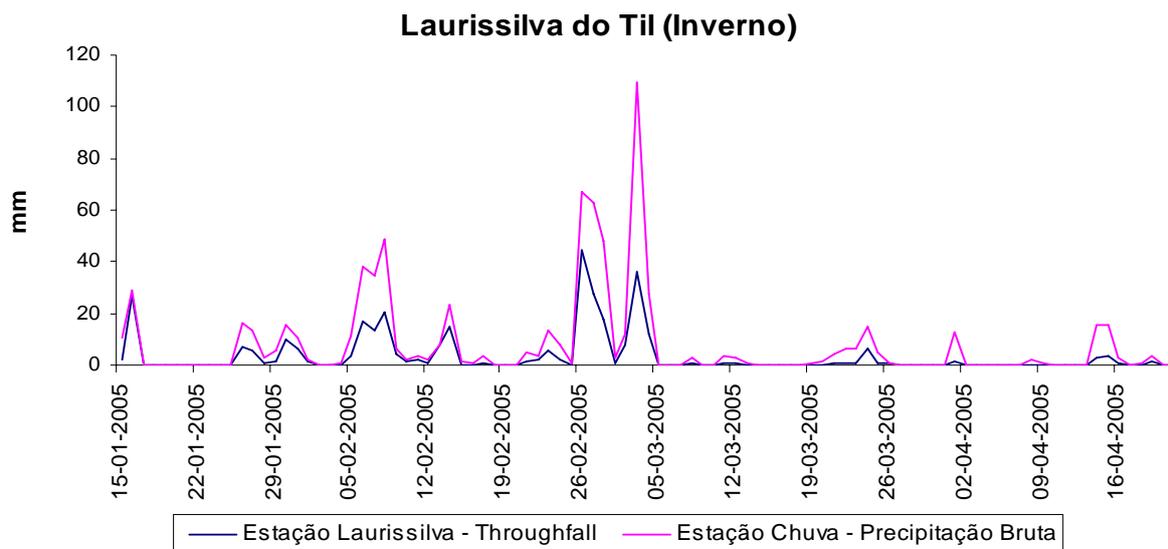


Figura 8 – Comparação entre precipitação bruta e *throughfall* na estação *Laurissilva* (Inverno)

A precipitação bruta nesta estação durante o período estival foi de 504,4 mm sendo o valor do *throughfall* de 171,2 mm, o que corresponde a uma percentagem de intercepção vegetal de 66,1%. O valor total de água proveniente da precipitação oculta foi de 56,5 mm, o que significa 2,7 mm/dia nevoeiro e um *input* extra de 33,8% de água ao ecossistema (Quadro 1). Quanto ao período de Inverno, a precipitação bruta total foi de 753,2 mm enquanto o *throughfall* atingiu um valor de 331,2 mm. A intercepção vegetal ficou-se pelos 43,97%. O volume da água do nevoeiro foi de 36,9 mm a que correspondeu uma média de 1,6 mm/dia de nevoeiro. Esta quantidade representou um acréscimo de 10,94% de água no valor de *throughfall* registado.

Quadro 1 – Resumo dos resultados obtidos nas duas estações udográficas

Estação	<i>Urzal</i>	<i>Laurissilva</i>	
		Verão	Inverno
Dias amostrados	394	153	97
Dias de Nevoeiro (Intercepção Vegetal negativa)	69	21	23
Precipitação Bruta	1660 mm	504,4 mm	753,2 mm
<i>Throughfall</i>	1155,3 mm	171,2 mm	331,2 mm
Intercepção Vegetal	30,4%	66,1%	44%
Precipitação Oculta Total	153,4 mm	56,5 mm	36,9 mm
Precipitação Oculta por dia de nevoeiro	2,2 mm/dia de nevoeiro	2,7 mm/dia de nevoeiro	1,6 mm/dia de nevoeiro
<i>Input</i> hídrico do nevoeiro	13%	34%	11%

4 – DISCUSSÃO

O objectivo do trabalho é aprofundar o conhecimento do fenómeno da precipitação oculta no interior de duas florestas indígenas da ilha da Madeira e quantificar o valor do *input* hídrico do nevoeiro no sistema.

4.1 Urzal de substituição

Apesar da falha de 25 dias nos registos da estação *Urzal* estes consideram-se representativos do ano hidrológico 2004/05.

Ainda que a parcela de água dos nevoeiros captada por este tipo de vegetação corresponda a 13% do total da água caída no solo da floresta, a média de 2,2 mm/dia de nevoeiro corresponde a um valor manifestamente inferior ao obtido por PRADA (2000) de 44,5 mm/dia em urze molar (*E. arborea*) na Bica da Cana. Este facto poderá ficar a dever-se ao seguinte:

1. Quantificação efectuada em árvores isoladas *vs.* quantificação em área florestal contínua
2. Urzal climácico com espécies dominantes de estrutura foliar acicular muito densa *vs.* urzal de substituição com espécies dominantes de estrutura foliar acicular laxa e elíptica laxa
3. Local experimental aos 1600 m s.m. *vs.* local experimental aos 1385 m s.m.
4. Distintas condições climáticas ocorridas durante o período de recolha de dados nos dois estudos
5. Diferenças na quantificação originadas por diferentes posições dos aparelhos em relação ao tronco das árvores

4.2 Laurissilva

Quanto aos resultados de precipitação oculta na estação *Laurissilva*, devido à curta extensão dos períodos amostrados, não nos permitiram determinar o contributo da Laurissilva no *input* anual de precipitação oculta no sistema. No entanto, estes resultados permitem observar uma divergência entre os valores captados no Inverno e no Verão. A fraca precipitação durante os meses de Verão parece ser compensada pela ocorrência de nevoeiro, cujo *input* hídrico é relativamente elevado (34%).

Este facto tem implicações na ecologia da zona através da manutenção de elevados níveis de humidade durante a época estival, contribuindo para a permanência do aspecto luxuriante da Laurissilva e para a manutenção dos caudais de nascentes e galerias.

No período de Inverno, a diminuição do *input* hídrico dos nevoeiros (11%) parece dever-se principalmente ao aumento da precipitação proveniente da chuva do que à diminuição da precipitação oculta.

4.3 Intercepção Vegetal

No que respeita aos valores de intercepção vegetal, nota-se que estes são superiores na área de Laurissilva em comparação com o urzal. Isto pode ser explicado pela morfologia das espécies dominantes nesta área. Os seus ramos cobrem de forma densa e contínua maiores áreas. As suas folhas grandes, largas e dispostas horizontalmente, podem sustentar as gotas de chuva e nevoeiro mais pequenas, diminuindo a quantidade de água que atinge o solo, uma vez que a maior exposição atmosférica facilita a evaporação. Também podem facilitar a escorrência para os troncos, fazendo com que, caso não encontre outros obstáculos, a água atinja o solo através destes (CROCKFORD e RICHARDSON, 2000). Ao contrário, no urzal a cobertura dos ramos é menos densa e sem folhas com grande superfície que protejam o solo, levando a que o *throughfall* atinja mais facilmente o solo florestal.

Não nos podemos também esquecer dos erros de método na avaliação do contributo da precipitação oculta. A possibilidade da área de captação dos aparelhos sob a vegetação não ter sido a mais adequada à heterogeneidade da cobertura vegetal aliada à não medição dos valores da escorrência dos troncos, poderá ter levado a uma subestimação importante dos reais valores de água precipitados no solo, proveniente tanto da chuva, como do nevoeiro. No futuro, metodologias que contemplem a correcção destas lacunas poderão ser aplicadas de forma a confirmar ou rejeitar os valores obtidos neste estudo.

BIBLIOGRAFIA

BRUIJNZEEL, L. A. – “Hydrology of tropical montane cloud forests: A Reassessment”. *Land Use and Water Resources Research* 1, 2001, pp. 1.1-1.18.

CROCKFORD, R. H., RICHARDSON, D. P. – “Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate”. *Hydrol. Process.* 14, 2000, pp. 2903-2920.

FRISCH, A. S., LENSCHOW, D. H., FAIRALL, C. W., SNIDER, J. B. – “Stratus cloud liquid water and turbulence profiles using a K_{α} – band Doppler radar and a microwave radiometer”, in *Second International Conference on Air – Sea Interaction and on Meteorology and Oceanography of the Coastal Zone – American Meteorological Society, Lisboa (Portugal)*, 22-27 Set. 1994, pp. 58-59.

GONZALEZ, J. – “Monitoring cloud water interception in a tropical montane cloud forest of the south-western Colombian Andes”. *Adv. Environ. Monitoring and Modelling* 1, 2000, pp. 97-117.

HOLDER, C. D. – “Fog precipitation in the Sierra de las Minas Biosphere Reserve, Guatemala”. *Hydrol. Process.* 17, 2003, pp. 2001-2010.

MESQUITA, S., CAPELO, J., SOUSA, J. – “Bioclimatologia da Ilha da Madeira: abordagem numérica”, in Capelo, J. “A paisagem vegetal da Ilha da Madeira”, *Quercetea* 6, 2004, pp. 47-58.

NASCIMENTO, S. – “Estudo hidrogeológico do Paul da Serra”. *Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre*. Lisboa (Portugal), Universidade de Lisboa, 1990.

PRADA, S. – “Geologia e Recursos Hídricos Subterrâneos da Ilha da Madeira”. *Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Geologia*, Funchal (Portugal), Universidade da Madeira, 2000.

PRADA, S., GASPAR, M. A., SILVA, M. O., CRUZ, J. V., PORTELA, M. M., HORA, G. R. – “Recursos hídricos da ilha da Madeira”. *Comun. Inst. Geol. e Mineiro* t.90, 2003, pp. 125-142.

PRADA, S., SILVA, M. O. – “Fog precipitation on the island of Madeira (Portugal)”. *Environmental Geology* 41, 2001, pp. 384-389.