UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

FRANCISCO CARLOS SORIANO ARCOVA

Avaliação do potencial hidrológico dos nevoeiros e da precipitação oculta em ambiente de Floresta Ombrófila Densa Montana na Serra do Mar, Cunha, SP

(Versão Corrigida)

SÃO PAULO
2013

FRANCISCO CARLOS SORIANO ARCOVA

Avaliação do potencial hidrológico dos nevoeiros e da precipitação oculta em ambiente de Floresta Ombrófila Densa Montana na Serra do Mar, Cunha, SP

(Versão Corrigida)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Geografia Física

Orientador: Prof. Dr. Emerson Galvani

De acordo: _____

São Paulo
2013

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação da Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

A668a

Arcova, Francisco Carlos Soriano
Avaliação do potencial hidrológico dos nevoeiros e da precipitação oculta em ambiente de Floresta Ombrófila Densa Montana na Serra do Mar, Cunha, SP. / Francisco Carlos Soriano Arcova; orientador Emerson Galvani. – São Paulo, 2013.
175 f.

Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Física.

1. Precipitação Atmosférica. 2. Florestas Tropicais. 3. Bacia Hidrográfica. I. Galvani, Emerson, orient. II Título.

ARCOVA, F. C. S. Avaliação do potencial hidrológico dos nevoeiros e da precipitação oculta em ambiente de Floresta Ombrófila Densa Montana na Serra do Mar, Cunha, SP. Tese apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Aprovado em: 29/11/2013

Banca Examinadora

Prof. Dr. Emerson Galvani (Orientador) Instituição: DG/FFLCH/USP

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. Gustavo Armani Instituição: IG/SMA

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. Valdir de Cicco Instituição: IF/SMA

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. José Bueno Conti Instituição: DG/FFLCH/USP

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. Manuel Enrique Gamero Guandique Instituição: UNESP/SOROCABA

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Ofereço,

Ao meu pai Francisco e à minha mãe Josepha, que nunca mediram esforços para a educação de seus filhos.

Dedico,

À minha esposa, Hideko e aos meus filhos, Yuri e Nicole, pela imensa paciência nesses anos de meu doutorado e pelo amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Emerson Galvani, pela acolhida, estímulo, orientação e pela confiança em mim depositada.

Ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, pela oportunidade de me receber com muita atenção e profissionalismo.

Ao técnico de laboratório do Departamento de Geografia, Rogério Rosolen Alves, sempre muito atencioso e prestativo.

Ao Instituto Florestal, pelas facilidades oferecidas e ao apoio na realização da pós-graduação.

Ao pesquisador Dr. Valdir de Cicco, incansável, pelo incentivo na realização da pós-graduação.

Ao pesquisador Dr. Maurício Ranzini, pela ajuda em todas as etapas de meu doutorado e também ao apoio incondicional nos momentos de maiores dificuldades.

Ao pesquisador Roberto Starzynski, gestor do núcleo Cunha-PESM, pelo apoio à realização das pesquisas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich.

Ao pesquisador Márcio Rossi, pelas informações sobre os solos da microbacia “D”.

Ao meu irmão Silvio Soriano Arcova e ao José Elísio de Lima, que fizeram os coletores de água de nevoeiros.

Aos amigos João Batista, Vanderlei e João Gó, pelo auxílio na instalação de equipamentos e pelas coletas e observações de campo, sem as quais esta pesquisa não aconteceria.

Aos amigos Aderbal, Jair, Dito e Zé Baixo, pela presteza nas observações de ocorrência de nevoeiro nos fins de semanas e feriados.

À Jura, Creusa e Célia, pelas refeições no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich e pela companhia sempre muito agradável.

Aos funcionários do núcleo Cunha-PESM: Antônio Márcio, Carlinhos, Paulo, Toninho, Zé Loca, Fábio, Paulinho, Juliano, Ivail, José Augusto, Emerson, Alex, Larico, Fernando e Denilson, pelo companheirismo e ajuda em todos os momentos.

Aos monitores ambientais do núcleo Cunha-PESM, Luana, Carmina, Diuliane, Ailton, Laurindo, Giovani, Ana Paula, Guilherme, Pedro, Rosana, Sidney e Douglas pela gentileza na cessão do auditório do centro de visitantes sempre que necessitamos.

À geógrafa Marina Mitsue Kanashiro, que confeccionou a figura de localização do Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich e à Fátima Marino, do SCTC, pelo desenho da figura dos mecanismos de formação de nevoeiros orográficos na região de Cunha.

Ao geógrafo Yuri Veneziani, pela confecção das cartas hipsométrica, clinográfica e de vegetação da microbacia “D”.

À bióloga Rita Souza, pela classificação das espécies arbóreas na microbacia “D”.

Ao amigo e pesquisador Andrés Enrique Lai Reyes, da Seção Técnica de Informática da ESALQ-USP, pelo auxílio nas análises estatísticas.

Ao Gustavo Armani, pesquisador do Instituto Geológico, pela colaboração em várias etapas da pesquisa.

À geógrafa Nádia Gilmar Beserra de Lima, pelo acolhimento no Departamento de Geografia, estímulo e companheirismo.

Ao geógrafo Frederico Luiz Funari, pelas primeiras informações sobre o tema nevoeiros e pelo incentivo à realização da minha pesquisa.

À todos os colegas de pós-graduação, que brilhem como profissionais da área de meio ambiente.

Ao pesquisador Eduardo Luiz Longui e ao Sr. Valter Antonio Davidian, pelo auxílio na revisão do abstract.

Ao pesquisador Geraldo Corrêa Franco, pela orientação referente à classificação da vegetação do núcleo Cunha.

Aos estagiários da Seção de Engenharia Florestal: Wellington de Oliveira Fernandes, Fábio Silva Santos e Marcella Andrezza M. Rodrigues, pela alegria constante e colaboração nas várias etapas do trabalho.

RESUMO

ARCOVA, F. C. S. **Avaliação do potencial hidrológico dos nevoeiros e da precipitação oculta em ambiente de Floresta Ombrófila Densa Montana na Serra do Mar, Cunha, SP.** 2013. - 175 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

Entre outubro de 2009 e dezembro de 2012, foi realizado estudo no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich (L.H.F.W.E.), para avaliar o potencial hidrológico dos nevoeiros e a precipitação oculta em ambiente de Floresta Ombrófila Densa Montana, na Serra do Mar, em Cunha, a leste do Estado de São Paulo. Os objetivos específicos da pesquisa foram: 1) avaliar o desempenho de coletores de água de nevoeiro; 2) verificar o potencial de coleta de água de nevoeiro no laboratório; 3) analisar o potencial de coleta de água de nevoeiro em três setores da microbacia experimental “D”; 4) averiguar a distribuição espacial e temporal de ocorrência dos nevoeiros na microbacia “D” e 5) estimar a contribuição da precipitação oculta na floresta da microbacia “D”. Para alcançar os três primeiros objetivos foram usados coletores passivos tipo harpa, nas formas cilíndrica e plana. Para estudar a distribuição de nevoeiros, foram feitas observações diárias de três referências visuais situadas a distâncias conhecidas no interior da microbacia “D”. O método da medição da precipitação efetiva foi empregado para estimar a precipitação oculta na floresta. Sobre a distribuição espacial e temporal da ocorrência de nevoeiros na microbacia “D”, os resultados mostraram que os episódios de nevoeiro foram mais comuns à tarde, como decorrência da brisa marítima proveniente do Oceano Atlântico. Para 61,3% do tempo, em média, foi observada a presença de nevoeiro em algum setor da microbacia, com a ocorrência dos nevoeiros diminuindo de montante para jusante da área. No que concerne ao desempenho dos equipamentos, a média de coleta diferiu de coletor para coletor, exceto entre o coletor cilíndrico descoberto e o coletor plano, que interceptaram mais água que os coletores cilíndricos cobertos. O coletor plano foi o único a interceptar água em todos os episódios amostrados. Sobre o potencial de coleta de água de nevoeiros no laboratório, concluiu-se que é reduzido e resulta da combinação de três fatores: a grande ocorrência de nevoeiros de radiação, a curta duração dos

episódios dos nevoeiros orográficos e a baixa intensidade dos ventos na região. No que concerne ao potencial de coleta de água de nevoeiro em três setores da microbacia “D”, árvores localizadas próximas aos coletores funcionaram como obstáculo à livre circulação dos nevoeiros orográficos, induzindo os coletores a interceptar exíguos volumes de água. Considerando apenas os eventos de nevoeiro sem chuva, a precipitação oculta foi de 2,3 mm, correspondendo a 0,12% da precipitação pluviométrica anual. Para os eventos de chuva com a presença de nevoeiro, a precipitação oculta gerou um total de 5,1 mm de água adicional ao piso da floresta, correspondendo a 0,27% da precipitação pluviométrica. Concluiu-se que a precipitação oculta na floresta não é um processo importante para a entrada de água na microbacia “D”.

Palavras-chave: Nevoeiro. Coletor de água de nevoeiro. Precipitação oculta. Floresta Ombrófila Densa Montana.

ABSTRACT

ARCOVA, F. C. S. **Evaluation of the hydrological potential of fog and of occult precipitation in Montane Dense Ombrophilous Forest environment in Serra do Mar, Cunha, Brazil**. 2013. 175 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

Between October 2009 and December 2012 a study was conducted at the Walter Emmerich Hydrologic Laboratory (LHFWE) to assess the hydrological potential of fog and occult precipitation in the Montane Dense Ombrophilous Forest environment located in the Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Cunha, east of the State of São Paulo, Brazil. The specific multiple objectives of the research were: 1) evaluate the performance of passive fog collectors, 2) evaluate the potential for collecting fog water in the laboratory, 3) evaluate the potential of collecting fog water in three sectors of experimental catchment "D", 4) determine the spatial and temporal distributions of fog occurrence in catchment "D", 5) estimate the contribution of occult precipitation in the rainforest in catchment "D". To achieve the first three objectives, cylindrical and flat “harp collectors” were used. To study the spatial and temporal distributions of fog occurrence, we made daily observations of three visual references located at known distances within the catchment. Net precipitation was measured and used to estimate the occult precipitation in the rainforest. Regarding the spatial and temporal distributions of fog occurrence, the results showed that episodes of fog were more common in the afternoon as a result of the sea breeze from the Atlantic Ocean. For 61.3% of the time on average, we observed the presence of fog in some sector of the catchment, with its occurrence decreasing in areas located from upstream to downstream. Concerning the comparison of the performance of the collectors, the average volume of water collected differed from collector to collector, except between cylindrical collector uncovered and flat collector, which captured more water than the cylindrical collectors covered to prevent rainwater input. The flat collector was the only gauge to intercept water in all episodes. The high incidence of fog radiation, the short duration of orographic fog, and the low intensity of winds combined to reduce the potential for harvesting fog water in the laboratory. Regarding the potential for collecting fog water in three sectors of the catchment "D",

trees located next to collectors operated as an obstacle to the free movement of orographic fog inducing gauges to intercept exiguous volumes of water. Considering only fog, but no rain, occult precipitation was 2.3 mm, corresponding to 0.12% of annual rainfall. For rainfall events with the presence of fog, occult precipitation generated a total of 5.1 mm of additional water to the floor of the forest, equivalent to 0.27% of the rainfall. It was therefore concluded that occult precipitation in rainforest did not significantly contribute to water entering catchment "D".

Keywords: Fog. Fog water collector. Occult precipitation. Montane Dense Ombrophilous Forest.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema representando os principais tipos de nevoeiros, segundo Bruijnzeel, Eugster e Burkard (2005). 24
Figura 2. Distribuição potencial das florestas tropicais nebulares montanas nas Américas, segundo Bubb et al. (2004). 29
Figura 3. Ciclo hidrológico em florestas nebulares, segundo Bruijnzeel e Hamilton (2001). 30
Figura 4. Processos hidrológicos em nível das copas das árvores quando ocorre apenas nevoeiro. 39
Figura 5. Processos hidrológicos em nível das copas das árvores quando ocorrem nevoeiro e chuva. 40
Figura 6. Localização do Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich-L.H.F.W.E., Cunha, SP.. 60
Figura 7. Imagem de satélite com indicação da localização do L.H.F.W.E.. 60
Figura 8. Esquema simplificado dos mecanismos de formação de nuvens e nevoeiros orográficos na Serra do Mar, região de Cunha, SP.....65
Figura 9. Ocorrência de nevoeiro orográfico na região de Cunha, onde está localizado o L.H.F.W.E.. 65
Figura 10. Nevoeiro orográfico envolvendo a Floresta Ombrófila Densa Montana no L.H.F.W.E.. 66
Figura 11. Vista do interior da Floresta Ombrófila Densa Montana no L.H.F.W.E. durante episódio de nevoeiro orográfico.. 66
Figura 12. Fim de episódio de nevoeiro de radiação no L.H.F.W.E.. 67
Figura 13. Nevoeiro de vapor sobre lago existente no L.H.F.W.E. 67
Figura 14. Árvores com epífitas no caule e nos ramos, e tronco de árvore morta e rochas recobertos por briófitas no piso da floresta do L.H.F.W.E. 68
Figura 15. Vista geral da microbacia experimental “D” e de seu entorno.. 69
Figura 16. Carta hipsométrica da microbacia “D”.. 70
Figura 17. Carta clinográfica da microbacia “D”.. 71
Figura 18. Carta de vegetação da microbacia “D”.. 72
Figura 19. Vista geral de um coletor plano de água de nevoeiro instalado no L.H.F.W.E.. 74

Figura 20. Vista geral de um coletor cilíndrico de água de nevoeiro instalado no L.H.F.W.E.. 75
Figura 21. Pluviômetros para medição da transprecipitação na parcela para determinação da precipitação oculta na microbacia “D”.. 79
Figura 22. Detalhe de pluviômetro usado na determinação da transprecipitação.. ...79
Figura 23. Árvore com dispositivo para coleta de água de escoamento pelo tronco na parcela para determinação da precipitação oculta na microbacia “D”.. ..80
Figura 24. Anemógrafo da estação meteorológica do L.H.F.W.E.. 81
Figura 25. Técnico de campo do L.H.F.W.E. durante observação de visibilidade na microbacia “D”.. 83
Figura 26. Microbacia “D” em dois momentos: (a) sob código de visibilidade 4; (b) sob código de visibilidade 3.. 84
Figura 27. Microbacia “D” em dois momentos: (a) sob código de visibilidade 2; (b) sob código de visibilidade 1.. 85
Figura 28. Vista geral dos coletores de água de nevoeiro instalados na estação meteorológica do L.H.F.W.E.. 87
Figura 29. (a) coletor coberto com compensado; (b) coletor com cobertura cônica; (c) coletor descoberto; (d) coletor plano.. 87
Figura 30. Coletores cilíndricos de água de nevoeiro cobertos com placa de compensado, instalados na microbacia “D”: (a) setor 1; (b) setor 2; (c) setor 3.. 89
Figura 31. Coletores planos instalados na microbacia “D”: (a) setor 1; (b) setor 3....90
Figura 32. Distribuição da frequência de ocorrência da velocidade dos ventos no L.H.F.W.E., segundo as classes da Escala de Beaufort, usando todos os dados disponíveis durante a pesquisa, agrupados nas estações do ano: primavera e verão. 95
Figura 33. Distribuição da frequência de ocorrência da velocidade dos ventos no L.H.F.W.E., segundo as classes da Escala de Beaufort, usando todos os dados disponíveis durante a pesquisa, agrupados nas estações do ano: outono e inverno. 96
Figura 34. Rosa dos ventos no L.H.F.W.E., obtida a partir de todos os dados disponíveis durante a pesquisa, agrupados nas estações do ano: primavera e verão. 98

Figura 35. Rosa dos ventos no L.H.F.W.E., obtida a partir de todos os dados disponíveis durante a pesquisa, agrupados nas estações do ano: outono e inverno. 99
Figura 36. Rosa dos ventos no L.H.F.W.E., para dias com coleta de água no coletor coberto com compensado, agrupados nas estações do ano: primavera e verão. 101
Figura 37. Rosa dos ventos no L.H.F.W.E., para dias com coleta de água no coletor coberto com compensado, agrupados nas estações do ano: outono e inverno. 102
Figura 38. Distribuição da frequência de ocorrência da velocidade dos ventos no L.H.F.W.E., segundo as classes da Escala de Beaufort, para dias com coleta de água no coletor coberto com compensado, agrupados nas estações do ano: primavera e verão. 104
Figura 39. Distribuição da frequência de ocorrência da velocidade dos ventos no L.H.F.W.E., segundo as classes da Escala de Beaufort, para dias com coleta de água no coletor coberto com compensado, agrupados nas estações do ano: outono e inverno. 105
Figura 40. Proporção de dias em que a microbacia “D” esteve sob os quatro códigos de visibilidade nos períodos da manhã e tarde, nos meses de outubro de 2009 a março de 2010. 110
Figura 41. Proporção de dias em que a microbacia “D” esteve sob os quatro códigos de visibilidade nos períodos da manhã e tarde, nos meses de abril a setembro de 2010. 111
Figura 42. Proporção de dias em que a microbacia “D” esteve sob os quatro códigos de visibilidade nos períodos da manhã e tarde, nos meses de outubro de 2010 a março de 2011. 112
Figura 43. Proporção de dias em que a microbacia “D” esteve sob os quatro códigos de visibilidade nos períodos da manhã e da tarde, nos meses de abril a setembro de 2011. 113
Figura 44. Proporção de dias em que a microbacia “D” esteve sob os quatro códigos de visibilidade nos períodos da manhã e tarde, nos meses de outubro de 2011 a março de 2012. 114

Figura 45. Proporção de dias em que a microbacia “D” esteve sob os quatro códigos de visibilidade nos períodos da manhã e tarde, nos meses de abril a setembro de 2012. 115
Figura 46. Síntese dos resultados dos percentuais de ocorrência dos códigos de visibilidade da microbacia “D” nos períodos da manhã e da tarde, para os três anos de observação. 116
Figura 47. Códigos de visibilidade observados na microbacia “D”, nas estações do ano, durante o período estudado. 117
Figura 48. Água de chuva interceptada pelo coletor cilíndrico protegido por cobertura cônica.. 119
Figura 49. Volume de água de nevoeiro captado no coletor cilíndrico coberto com compensado, nos períodos de outubro de 2009 a setembro de 2010, outubro de 2010 a setembro de 2011 e outubro de 2011 a setembro de 2012. 128
Figura 50. Taxas mensais de coleta de água de nevoeiro obtidas pelo coletor cilíndrico coberto com compensado, no período de outubro de 2009 a setembro de 2012. 130
Figura 51. Volume de água de nevoeiro captado pelo coletor cilíndrico descoberto nos eventos sem ocorrência de chuva, no período de maio de 2010 a outubro de 2012. 131
Figura 52. Volume de água de nevoeiro coletado no setor 1 da microbacia “D”, obtido com coletor cilíndrico coberto com compensado, no período de outubro de 2009 a setembro de 2010. 137
Figura 53. Volume de água de nevoeiro coletado nos setores 1, 2 e 3 da microbacia “D”, obtido com coletores planos nos eventos sem chuva, no período de abril de 2011 a agosto de 2012. 138
Figura 54. Precipitação pluviométrica durante a pesquisa e média mensal e amplitudes da precipitação no período de 1982 a 2012. 141
Figura 55. Precipitação oculta na floresta na microbacia “D” quando houve apenas nevoeiro. 142
Figura 56. Percentual de contribuição da transprecipitação e do escoamento pelo tronco para a precipitação oculta nos eventos de nevoeiro sem chuva. 143

Figura 57. Valor máximo de transprecipitação obtido nas 50 posições de colocação dos pluviômetros na parcela para determinação da precipitação oculta na microbacia “D”, quando houve apenas nevoeiro. 143
Figura 58. Variação da transprecipitação e do escoamento pelo tronco nos dias 23/11/2009, 15/12/2009 e 04/06/2010, quando houve apenas nevoeiro. 146
Figura 59. Volume máximo de escoamento pelo tronco obtido em cada uma das 10 árvores amostradas da parcela para determinação da precipitação oculta na microbacia “D”, quando houve apenas nevoeiro. 147
Figura 60. Relação entre a precipitação pluviométrica e a precipitação efetiva na microbacia “D”. (a) todos os eventos coletados; (b) foram excluídos 10 pontos provenientes de eventos decorrentes de vários dias de chuva. 151
Figura 61. Regressões relacionando log (precip. pluviométrica +1) e o log (precip. efetiva +1). Em vermelho: chuva e nevoeiro; em preto: apenas chuva. (a) gráfico com todos os eventos; (b) gráfico excluídos 10 pontos de eventos oriundos de vários dias de chuva. 152

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Taxas diárias de coleta de água de nevoeiro em diferentes localidades. 47
Tabela 2 - Valores médios de variáveis meteorológicas e da taxa mensal de coleta de água de nevoeiro em Tenerife, Ilhas Canárias. Modificado de Marzol e Santos (2004). 49
Tabela 3 - Valores de precipitação oculta em florestas, de seu percentual em relação à precipitação pluviométrica e da taxa diária em diferentes localidades.55
Tabela 4 - Resumo dos atributos climáticos no L.H.F.W.E., Cunha, SP. 64
Tabela 5 - Características físicas da microbacia “D”. Adaptado de Arcova (1996). ..69
Tabela 6 - Espécies de árvores da parcela para determinação da precipitação oculta na microbacia “D”. 76
Tabela 7 - Características da parcela para determinação da precipitação oculta na microbacia “D”. 78
Tabela 8 - Informações sobre as referências visuais adotadas para os códigos de visibilidade na microbacia “D”. 82
Tabela 9 – Velocidade do vento em locais onde foram realizados estudos sobre a contribuição hidrológica dos nevoeiros. 106
Tabela 10 - Frequência anual de dias com ocorrência de nevoeiro em várias localidades e na microbacia “D”.....108
Tabela 11 – Análise da Variância do Ranking dos volumes de coleta nos coletores de água de nevoeiro. 120
Tabela 12 – Resultado do teste de comparações múltiplas de Tukey, a 5% de significância, para médias do ranking dos volumes de coleta nos coletores de água de nevoeiro.....120
Tabela 13 - Volumes de água captados nos quatro coletores avaliados. 122
Tabela 14 - Informações obtidas dos registros do pluviógrafo acoplado ao coletor plano de água de nevoeiro. 133
Tabela 15 - Taxas mensais de coleta de água de nevoeiro obtidas nos coletores cilíndricos cobertos com placa de compensado, instalados nos setores 1, 2 e 3 da microbacia “D”.....137
Tabela 16 - Resumo estatístico referente aos dados de volume de água de nevoeiro obtidos com coletor plano nos setores 1, 2 e 3 da microbacia “D”. 138

Tabela 17 – Análise da Variância do Ranking dos volumes de coleta nos coletores de água de nevoeiro nos três setores da microbacia “D”. 139
Tabela 18 – Resultado do teste de comparações múltiplas de Tukey, a 5% de significância, para médias do ranking dos volumes de coleta de água de nevoeiro nos três setores da microbacia “D”. 139
Tabela 19 - Coeficiente de variação da transprecipitação nas 50 posições possíveis de colocação dos pluviômetros e do escoamento pelo tronco nas 10 árvores amostradas na parcela para determinação da precipitação oculta na microbacia “D”. 144
Tabela 20 - Precipitação pluviométrica e a quantidade e o percentual de transprecipitação, escoamento pelo tronco e precipitação efetiva na microbacia “D”. 149
Tabela 21 - Resultados das comparações das regressões lineares entre a precipitação pluviométrica e a precipitação efetiva para as condições de chuva com nevoeiro e chuva sem nevoeiro.....153

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 21

2 OBJETIVOS E HIPÓTESE 23

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....24

3.1 Definição e principais tipos de nevoeiros 24
3.2 Nevoeiros como fonte de água.....26
3.3 Quantificação da água de nevoeiros 31
3.3.1 Coletores de água de nevoeiros.....31
3.3.2 Precipitação oculta em floresta 37
3.3.2.1 Estimativa da precipitação oculta quando ocorre apenas nevoeiro 38
3.3.2.2 Estimativa da precipitação oculta quando ocorrem nevoeiro e chuva 39
3.4 Resultados de pesquisas e fatores que influenciam as taxas de coleta de água de nevoeiros.....45
3.4.1 Coleta de água de nevoeiros por coletores passivos 45
3.4.2 Precipitação oculta estimada em florestas 51
3.5 Observações visuais de nevoeiros.....57

4 MATERIAL E MÉTODOS 59

4.1 Características gerais da área de estudo 59
4.2 Características da microbacia experimental “D” 69
4.3 Instrumentos utilizados.....73
4.3.1 Coletores de água de nevoeiros.....73
4.3.1.1 Coletores planos.....73
4.3.1.2 Coletores cilíndricos 74
4.3.2 Parcela para determinação da precipitação oculta na floresta 76
4.3.2.1 Transprecipitação 78
4.3.2.2 Escoamento pelo tronco 80
4.3.3 Velocidade e direção dos ventos.....81
4.4 Métodos.....82
4.4.1 Distribuição espacial e temporal da ocorrência de nevoeiros na microbacia “D” 82
4.4.2 Desempenho dos coletores e avaliação do potencial de coleta de água de nevoeiros no L.H.F.W.E. 86
4.4.3 Potencial de coleta de água de nevoeiros em três setores da microbacia “D” .88
4.4.4 Estimativa da precipitação oculta na floresta 91
4.5 Rotina de observações de visibilidade e de coleta de dados 92
4.6 Análises estatísticas.....92

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 94

5.1 Condições dos ventos 94
5.2 Distribuição espacial e temporal da ocorrência de nevoeiros na microbacia “D” 107
5.3 Desempenho dos coletores de água de nevoeiros 118
5.4 Potencial hidrológico dos nevoeiros no L.H.F.W.E.....127
5.5 Potencial de coleta de água de nevoeiros em três setores da microbacia “D” ..136

5.6 Estimativa da precipitação oculta na floresta 140
5.6.1 Precipitação oculta quando houve apenas nevoeiro 141
5.6.2 Precipitação oculta estimada pelo módulo da interceptação negativa 148
5.6.3 Precipitação oculta estimada pelo método descrito por McJannet e Wallace (2006).....151

6 CONCLUSÕES 155

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 158

APÊNDICES 171

1 INTRODUÇÃO

As formas pelas quais a umidade atmosférica se precipita na superfície da Terra são a chuva, garoa, granizo e neve. Em geral, elas são reconhecidas como as únicas fontes de água para as bacias hidrográficas, sendo feitas medições integradas destas para se estimar a entrada de água no sistema. Isto é válido para bacias localizadas em regiões de altitude reduzida, ou em sítios de maior elevação desprovidos de vegetação arbórea. Porém, em áreas de florestas de altitude elevada, onde a presença de nevoeiros é frequente, apenas a consideração das formas convencionais de precipitação pode subestimar a entrada de água nas bacias (SCHEMENAUER; CERECEDA, 1994b; MCJANNET; WALLACE, 2006; MCJANNET et al., 2006).

As florestas tropicais de altitude elevada não cumprem apenas o papel hidrológico de proteção das vertentes e encostas, de regularização do regime de descargas dos riachos e rios e a manutenção de água de boa qualidade. Devido à exposição constante aos nevoeiros, estes biomas podem apresentar uma fonte adicional de água, comparativamente aos ecossistemas de altitude reduzida. As partículas microscópicas de água dos nevoeiros ao entrar em contato com o dossel florestal podem ser interceptadas pela vegetação, aglutinar-se por coalescência e, posteriormente, alcançar o piso da floresta na forma de gotas ou escoada pelo tronco das árvores (BRUIJNZEEL, 2001; BRUIJNZEEL; HAMILTON, 2001). Esse processo é denominado de precipitação oculta da floresta (PRADA; SILVA, 2001)

Estudos desenvolvidos em florestas tropicais de altitude elevada ao redor do mundo têm registrado adições consideráveis de água para as bacias hidrográficas por meio dos nevoeiros interceptados pelas árvores. Bruijnzeel (2001) sugere que as taxas de deposição de água podem ser de 1 a 2 $mm.d^{-1}$, variando de 0,2 a 4 $mm.d^{-1}$.

As florestas frequentemente imersas em nevoeiros ou nuvens que tocam o solo recebem a denominação de “florestas nebulares” ou, em inglês, “*cloud forests*” (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - WORLD CONSERVATION MONITORING CENTRE, 2008). Correspondem a apenas 2,5% da área total dos bosques tropicais do mundo, com uma superfície global de aproximadamente 380.000 km^2 (BUBB et al., 2004). No Brasil, estes biomas são representados pela Floresta Ombrófila Densa Montana e Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana, que

recobrem a Serra do Mar, principalmente nos estados de Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro, pequenos trechos da Serra da Mantiqueira, e o alto dos planaltos e das serras na Amazônia, como o Pico da Neblina e o Monte Roraima, entre outros.

No Parque Estadual da Serra do Mar, no município de Cunha, próximo ao limite do território paulista com o fluminense, é comum a ocorrência de nevoeiros envolvendo a floresta ao longo do ano. Nessa localidade encontra-se instalado o Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich (L.H.F.W.E.), onde pesquisas sobre o ciclo hidrológico em microbacias experimentais recobertas com Mata Atlântica são realizadas desde 1980 (FUJIEDA, et al. 1997; ARCOVA; CICCO, 2005). Ainda na implantação do L.H.F.W.E. questionava-se sobre a possível influência do processo de interceptação dos nevoeiros pela floresta na entrada de água para as microbacias experimentais a serem implementadas e monitoradas, e destacava-se a necessidade de realizar tais estudos no futuro (JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY, 1980). Essa necessidade foi reiterada posteriormente, à medida que as investigações sobre o balanço hídrico foram sendo aprofundadas (ARCOVA, 1996). Resultados de um estudo preliminar desenvolvido por Anido (2002) indicaram uma possível contribuição dos nevoeiros para a entrada de água na floresta local.

O presente projeto foi proposto com o objetivo de prosseguir com este estudo e obter informações mais detalhadas sobre a ocorrência de nevoeiros no L.H.F.W.E., avaliando se esses apresentam potencial para influenciar a hidrologia das microbacias hidrográficas da região de Cunha, sobretudo a entrada de água nas mesmas.

2 OBJETIVOS E HIPÓTESE

Os objetivos específicos da pesquisa foram:

- verificar o desempenho de coletores de água de nevoeiro para as condições ambientais do L.H.F.W.E.;
- avaliar o potencial de coleta de água de nevoeiro no L.H.F.W.E.;
- avaliar o potencial de coleta de água de nevoeiro em três setores da microbacia “D”;
- verificar a distribuição espacial e temporal de ocorrência dos nevoeiros na microbacia experimental “D”; e
- estimar a contribuição da precipitação oculta gerada pela interceptação dos nevoeiros pela floresta, para a entrada de água na microbacia “D”.

O estudo foi proposto considerando a hipótese de que no L.H.F.W.E. os nevoeiros apresentam elevado potencial hidrológico, e a precipitação oculta na Floresta Ombrófila Densa Montana é importante processo de entrada de água para as microbacias da região de Cunha, SP.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Definição e principais tipos de nevoeiros

Os nevoeiros são constituídos de gotas microscópicas de água em suspensão na atmosfera, formando uma nuvem na superfície terrestre. Estas gotas tem diâmetro entre 1 e 40 µm e velocidade de queda muito baixa, inferior a 5 $cm.s^{-1}$, de tal forma que mesmo em condições de ventos fracos, as gotas se movimentam quase horizontalmente, sendo a visibilidade horizontal, normalmente, inferior a 5 km (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2008).

A definição internacional de nevoeiro consiste em uma coleção de gotas de água ou de cristais de gelo em suspensão próxima à superfície da Terra, e que leva à redução da visibilidade horizontal a menos de mil metros (FU et al., 2010).

Eugster (2008, p. 1) apresenta uma definição bastante simples que se aplica para o propósito do presente texto, que é mostrar sua importância hidrológica: "... nevoeiro é uma nuvem que toca a superfície do solo e envolve o observador".

Bruijnzeel, Eugster e Burkard (2005) e Eugster (2008), elencam sete tipos de nevoeiros mais comuns: de radiação, marítimo, de vapor, de advecção, costeiro, de vale e de montanha. Os quatro primeiros tipos recebem a denominação em conformidade com o local onde o nevoeiro foi formado e, também, em razão do processo que o formou. Os demais estão relacionados ao local onde o fenômeno ocorre, independentemente do processo de formação. Os tipos de nevoeiros são descritos a seguir e estão representados na Figura 1.

Figura 1. Esquema representando os principais tipos de nevoeiros, segundo Bruijnzeel, Eugster e Burkard (2005).

Nevoeiro de radiação: é o mais comum nas áreas interiores, ocorrendo em locais onde o ar frio tende a se acumular durante a noite ou por longos períodos no inverno. Para este tipo de nevoeiro se desenvolver há necessidade da atmosfera estar estável (ventos fracos), com uma camada de inversão térmica quase adjacente à superfície do solo. O processo que predomina na sua formação é o resfriamento da superfície terrestre, como decorrência da perda radioativa, o qual reduz a temperatura do ar abaixo do ponto de orvalho[1]. O excesso de vapor é condensado nas partículas de aerossóis presentes, formando pequenas gotas de água.

Nevoeiro marítimo: é formado em áreas oceânicas abertas. Diferentes processos de resfriamentos podem gerá-lo, mas o mais característico consiste no resfriamento do ar quente e úmido a uma temperatura inferior ao ponto de orvalho, quando o ar se desloca sobre a superfície fria da água. Como a maioria das águas frias é encontrada nas correntes costeiras, o nevoeiro marítimo se desenvolve, normalmente, próximo ao continente. Devido a sua ocorrência não se restringir a condições de ventos fracos, é mais persistente que o nevoeiro de radiação e, ao contrário deste, pode se deslocar a grandes distâncias.

Nevoeiro de vapor: se forma sobre a superfície do mar, rios e lagos quando o ar frio com baixa capacidade de saturação de vapor de água flui sobre a superfície quente, a uma taxa de evaporação da água maior do que o ar frio pode reter. O excesso de vapor é condensado em minúsculas gotas gerando uma névoa ascendente não muito espessa, parecida com fumaça ou vapor. É comum no outono e início do inverno, quando a água ainda está quente e o ar já está sendo resfriado.

Nevoeiro de advecção: ocorre quando o ar quente e úmido se desloca horizontalmente sobre uma superfície fria, resfriando por contado e também por mistura com o ar frio localizado sobre a superfície, até atingir a saturação. Em áreas costeiras, onde há forte contraste no aquecimento entre a terra e o oceano, pode ser gerada uma brisa marítima que acaba por empurrar o nevoeiro formado em alto-mar em direção ao continente. Nesta situação o nevoeiro pode receber a denominação de “nevoeiro costeiro”, conforme explicitado a seguir.

Nevoeiro costeiro: recebe esta denominação por ocorrer em regiões costeiras. Porém é um típico nevoeiro de advecção que é formado quando a superfície terrestre é mais quente que a superfície fria do oceano. Nesse caso, os ventos

[1] Temperatura na qual a parcela de ar satura por resfriamento, sem adição ou remoção de vapor.

constantes transportam o nevoeiro denso que se forma no mar em direção à costa.

Nevoeiro de vale: é tipicamente um nevoeiro de radiação que se forma entre morros e montanhas, isto é, os vales. Ocorre normalmente no inverno, quando o ar frio se desloca para os terrenos mais baixos, podendo perdurar por vários dias se a atmosfera permanecer estável.

Nevoeiro de montanha: também chamado de nevoeiro de encosta ou orográfico, forma-se devido ao encontro do ar úmido com uma montanha, resultando no resfriamento do ar por expansão adiabática à medida que ele se move para maiores altitudes. É um dos poucos tipos de nevoeiro que se mantém em condições de vento relativamente forte, pois quanto maior a velocidade do vento mais veloz será a ascensão do ar e mais rápido será o seu resfriamento. Culmina em uma densa e extensa camada de nevoa sobre as encostas e os topos de colinas e montanhas, assemelhando-se a nuvens. É o tipo de nevoeiro que mais influencia o balanço hídrico e o balanço de nutrientes nas florestas montanas.

3.2 Nevoeiros como fonte de água

Os nevoeiros se revestem de importância hidrológica quando as pequenas gotas de água suspensas no ar entram em contato com uma barreira física, se aglutinam pelo processo de coalescência (CHANEY, 1981), formando gotas maiores que, pela ação da gravidade, se desprendem da superfície em movimento vertical descendente. Se os eventos de nevoeiros são frequentes ao longo do ano, são duradouros e apresentam elevado conteúdo de umidade (são densos), eles podem ter a água captada em quantidade significativa por dispositivos construídos para este fim ou, naturalmente, pela vegetação de grande porte, como árvores isoladas ou povoamentos florestais. Os hidrólogos que estudam este fenômeno dão a ele diferentes denominações, como **precipitação oculta**, precipitação horizontal, precipitação de nevoeiro, gotejamento de nevoeiro, água de nevoeiro, deposição de água de nevoeiro[2] e precipitação por interceptação direta de nevoeiro (PRADA; SILVA, 2001).

[2] No presente texto, o termo deposição não se aplica à mudança de estado da água de gasoso para sólido.

O uso alternativo dos nevoeiros como fonte de água não é recente, remontando vários séculos. O exemplo mais emblemático é, sem dúvida, o documentado em El Hierro, no Arquipélago das Ilhas Canárias, na Espanha. Naquela localidade, onde as chuvas são escassas e a incidência dos nevoeiros é grande, a água captada pelas folhas e ramos de uma árvore da espécie Laurel foi utilizada durante vários anos para o consumo humano e a dessedentação de animais (PATRÍCIO; GONÇALVES; DAVID, 1998; BRUIJNZEEL; HAMILTON, 2001; HAMILTON et al., 2009). Outro exemplo que ilustra a antiga relação do homem com a captação de nevoeiros para seu benefício, refere-se ao fato de que os habitantes da Palestina construíam junto às videiras que plantavam, pequenas barreiras na forma de colméias para reter a água da névoa e do orvalho noturno, de tal forma que a água coletada era precipitada nas imediações das plantas, irrigando-as (OLIVIER, 2002). Bruijnzeel e Hamilton (2001) fazem menção ao fato de que no Havaí são instalados bebedouros sob árvores isoladas, para coletar água de nevoeiro e disponibilizá-la para aves de caça que habitam regiões áridas daquela localidade.

Países como Chile, Peru, Equador, Colômbia, África do Sul, Namíbia, Irã, dentre outros, estudam a possibilidade de usar o potencial hídrico dos nevoeiros como fonte suplementar de água para pequenas comunidades situadas em sítios remotos. São regiões áridas ou semiáridas, localizadas próximas à costa que, devido às condições climáticas peculiares, experimentam, paradoxalmente, escassez de chuva por um lado e, por outro, são frequentemente imersas em nevoeiros e nuvens do tipo “stratus” provenientes dos oceanos. Ao longo do planeta, 47 sítios distribuídos em 22 países apresentam as condições acima descritas e, portanto, podem se utilizar deste “serviço” dos nevoeiros (INTERNATIONAL DEVELOPMENT RESEARCH CENTRE, 1993).

Um bom exemplo do possível uso da água de nevoeiros para abastecimento é o projeto desenvolvido em El Tofo, no Chile (INTERNATIONAL DEVELOPMENT RESEARCH CENTRE, 1993). Para abastecer uma comunidade de 350 pessoas, os idealizadores deste projeto instalaram no topo de várias colinas, painéis retangulares dispostos perpendicularmente à direção dos ventos predominantes. Com área de 48 m^2 (4 m de altura x 12 m de largura), cada coletor foi construído de uma fina malha de filamentos de polipropileno. Cerca de 30% da água dos nevoeiros que passa pela malha é por ela retida na forma de gotículas e se precipita em uma calha instalada na parte inferior do painel. A água coletada é então conduzida a um tanque

de 100 m^3 de capacidade de armazenamento. Os vários painéis instalados totalizaram uma superfície de captação de 3528 m^2 que, em média, produz um volume de 10.580 litros de água por dia. Desta forma, cada morador da comunidade é suprida diariamente com aproximadamente 30 litros de água.

Todavia, não somente sítios de regiões áridas e semiáridas se beneficiam do serviço de produção de água proporcionado pelos nevoeiros. Há uma considerável faixa tropical da Terra, com condições climáticas e topográficas propícias à formação de nevoeiros regularmente. Em geral, são áreas próximas da costa, mas que podem avançar em direção ao continente, ou ilhas, que sofrem influência de massas de ar úmidas provenientes dos oceanos e que experimentam nevoeiros e nuvens superficiais persistentes ao longo do ano ou em parte deste. Porém, ao contrário das regiões com chuvas escassas, cuja vegetação é esparsa e de pequeno porte, estas áreas apresentam florestas naturais bem desenvolvidas, que funcionam como verdadeiras coletoras de água de nevoeiro que, na ausência das mesmas, seria perdida para a atmosfera.

Com exceção de algumas ilhas ou montanhas costeiras de elevação na cota de 500 metros, estes biomas situam-se em regiões de altitude superior a 1000 metros. Pelo fato de permanecerem frequentemente envoltos em nevoeiro e nuvens, recebem a denominação genérica de “florestas tropicais nebulares montanas”; em inglês “*tropical montane cloud forests*” (BRUIJNZEEL, 2001; BRUIJNZEEL; HAMILTON, 2001; BUBB et al., 2004).

As florestas nebulares correspondem a 2,5% da área total das matas tropicais do mundo. Com uma superfície global de aproximadamente 380.000 km^2, estão assim distribuídas: 15,0% ocorrem na África, 59,7% na Ásia e 25,3% nas Américas. No continente americano, estas florestas representam 1,2% das florestas tropicais da região (BUBB et al., 2004). A distribuição potencial dos sítios e dos bosques nebulares nas Américas é apresentada na Figura 2. No Brasil, elas estão presentes, principalmente, na Serra do Mar, entre Santa Catarina e o Rio de Janeiro, em alguns setores da Serra da Mantiqueira, e no norte do país no alto dos planaltos e das serras, como o Pico da Neblina e o Monte Roraima.

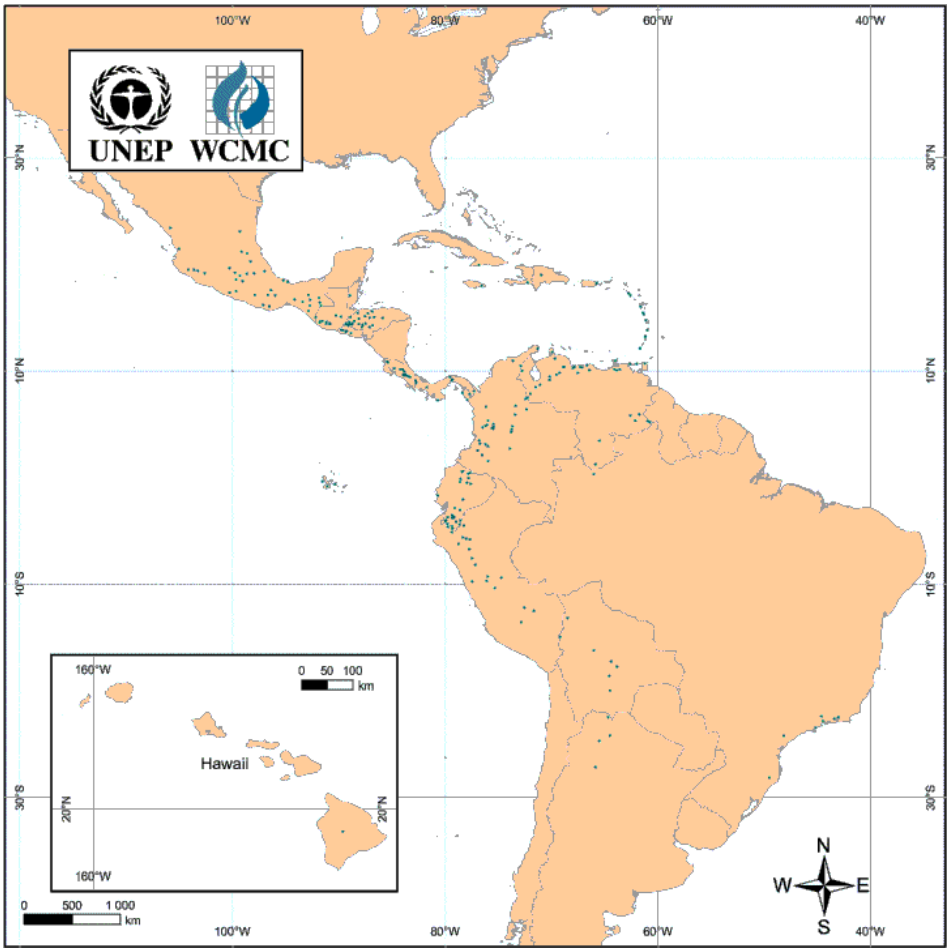


Figura 2. Distribuição potencial das florestas tropicais nebulares montanas nas Américas, segundo Bubb et al. (2004).

As copas das árvores, que são muito permeáveis à passagem dos fluxos de ar, têm grande superfície de retenção e possibilitam o movimento contínuo das folhas e galhos pela ação do vento, são consideradas coletores ideais da água de nevoeiro (PRADA; SILVA, 2001; PRADA et al., 2012).

Após serem saturadas, as copas das árvores das florestas nebulares drenam a água retida pela massa vegetal em direção ao solo por meio de gotejamento pelas folhas e pelo fluxo de escoamento pelo tronco. Assim, para essas localidades, a captação de água da atmosfera constitui-se em um importante processo do ciclo hidrológico (Figura 3) (BRUIJNZEEL; HAMILTON, 2001) e para o balanço hídrico das bacias hidrográficas (MCJANNET et al., 2006).

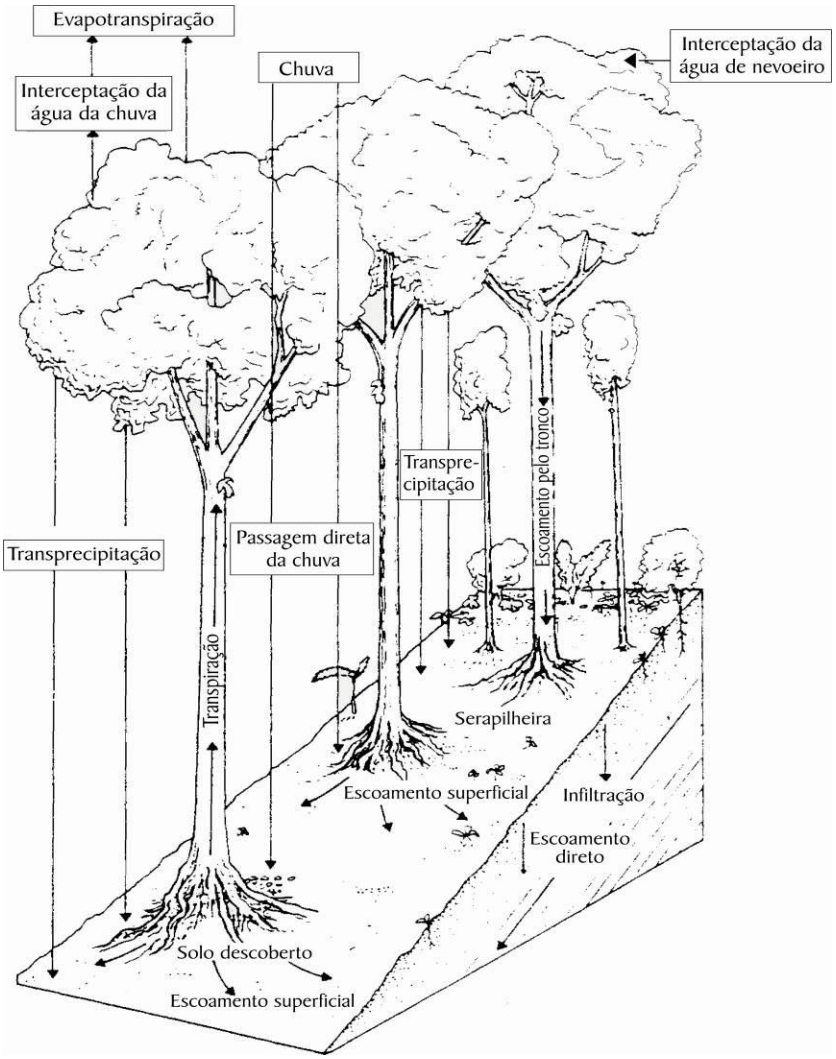


Figura 3. Ciclo hidrológico em florestas nebulares, segundo Bruijnzeel e Hamilton (2001).

A quantidade adicional de água que essas florestas obtém varia com a pluviosidade, a topografia, a frequência ou persistência dos nevoeiros e a velocidade dos ventos que os impulsiona. O aumento pode ser de 15% a 20% no caso de chuvas anuais de 2000 a 3000 mm e de até 60% nos locais com menos chuvas (HAMILTON et al., 2009). A época do ano também é fator relevante; essa contribuição pode ser especialmente importante durante a estação seca (BUBB et al., 2004; LIU et al., 2008), havendo locais, como em Sierra Madre, no México, em que o percentual de precipitação oculta corresponde a 85% da precipitação pluviométrica (HAMILTON et al., 2009).

Outro aspecto hidrológico relacionado à presença dos nevoeiros nas bacias hidrográficas dessas regiões diz respeito, não a entrada de água para o sistema, mas sim às perdas pelos processos evaporativos (LIU et al., 2008). Em que pesem os poucos estudos sobre esse tema nestas localidades, os resultados obtidos

mostram valores de evapotranspiração inferiores nos biomas tropicais onde os nevoeiros são frequentes. Enquanto as florestas nebulares evapotranspiram anualmente entre 700 e 1000 mm, dependendo da altitude e do grau de incidência da nebulosidade, nas demais florestas os totais estão entre 1150 a 1350 mm (BRUIJNZEEL; HAMILTON, 2001). Vale dizer que para o balanço hídrico, a reduzida evapotranspiração nesses sítios implica em maior escoamento de água na bacia hidrográfica.

A entrada adicional de água pelos nevoeiros interceptados pela vegetação, associada às baixas taxas de evapotranspiração, qualificam as bacias hidrográficas das florestas tropicais nebulares como mananciais para abastecimento de grandes populações humanas. Dos 850.000 habitantes da população de Tegucigalpa, a capital de Honduras, 40% se beneficiam da água proveniente do Parque Nacional de La Tigra, que drena este tipo de ambiente. Outras populações urbanas que recebem água de bosques nebulares são os 1,3 milhão de pessoas em Quito, no Equador, e os 20 milhões na Cidade do México (HAMILTON et al., 2009).

3.3 Quantificação da água de nevoeiros

3.3.1 Coletores de água de nevoeiros

Tanto para a avaliação da viabilidade do uso de nevoeiros como fonte suplementar de água para comunidades situadas em regiões áridas onde este fenômeno meteorológico é significativo, como para localidades onde a captação de água ocorre naturalmente pela floresta, são necessários estudos para conhecer o potencial de coleta de água dos nevoeiros no sítio, a frequência de ocorrência dos mesmos, os aspectos relacionados à sazonalidade, dentre outros. Esses, usualmente, são realizados com o emprego de algum tipo de coletor de água de nevoeiro (FRUMAU et al., 2011).

Não há um único instrumento que contemple todas as possibilidades de medições necessárias ou desejadas para as pesquisas relacionadas à quantificação da água dos nevoeiros. Na realidade, há uma série de equipamentos, em sua ampla

maioria de fabricação artesanal, que vem sendo utilizada (BRUIJNZEEL; EUGSTER; BURKARD, 2005). Embora o princípio de funcionamento seja o mesmo, isto é, ao passar por uma superfície sólida a água do nevoeiro é por ela retida, em seguida ocorre a coalescência das gotículas formando gotas maiores e, finalmente, se dá a drenagem vertical da água pela ação da gravidade, os coletores variam quanto ao material empregado na superfície coletora da água, no desenho (forma) e na maneira como as gotículas chegam até a superfície coletora, se naturalmente ou forçada.

No entanto, todos os equipamentos devem atender a dois pré-requisitos: o primeiro é que a superfície coletora deve ser vertical ou próximo desta posição, uma vez que as pequenas gotas de nevoeiro têm baixa velocidade de queda, entre $<< 1\ cm.s^{-1}$ e $5\ cm.s^{-1}$, fato que implica numa trajetória quase paralela à superfície do solo em virtualmente qualquer condição de vento (SCHEMENAUER; CERECEDA, 1994a); o segundo é que a superfície coletora não seja compacta, pois se assim for, o movimento das gotículas impede o contato com a superfície devido à deflexão das correntes de ar (PATRÍCIO; GONÇALVES; DAVID, 1998). Mas, estes autores destacam que se a superfície é suficientemente pequena e estreita, o ar raramente é defletido e a inércia das gotículas é então hábil para que elas se depositem, atuando como “filtros” para as mesmas.

Da informação oferecida por Patrício, Gonçalves e David (1998), depreende-se que a superfície dos coletores deve ser vazada, para que ocorra a passagem do ar úmido, porém constituída de diversas superfícies estreitas capazes de reter eficientemente as gotículas do nevoeiro. Fischer e Still (2007) destacam que os tipos mais usados de superfície são a malha, confeccionada de linhas horizontais e verticais entrelaçadas e a de linhas verticais dispostas paralelamente, motivo pelo qual recebe a denominação de “harpa”, em alusão ao instrumento musical.

Diferentes tipos de malhas são usados, com destaque para a de polipropileno, sugerida por Schemenauer e Cereceda (1994b) no coletor por eles idealizado para funcionar como equipamento padrão nas pesquisas sobre coleta de água de nevoeiros. O material tem fibras de aproximadamente 1 mm de espessura e coeficiente de sombreamento de 35%. A malha é usada em duas camadas sobrepostas, de modo a proporcionar um padrão triangular, sendo a área efetiva de coleta de 40%. Pode ser considerado um material de referência na confecção de coletores, pois é amplamente empregado nos experimentos (AL-JAYYOUSI;

MOHSEN, 1999; PRADA; SILVA, 2001; ANIDO, 2002; OLIVIER; RAUTENBACH, 2002; MARZOL, 2002; OSSES; SCHEMENAUER; LEIBBRAND, 2004; MILETA, 2004; SCHEMENAUER; OSSES; LEIBBRAND, 2004; AL-HASSAN, 2009).

Com relação à superfície do tipo harpa, o fio de poliamida (linha de nylon para pesca) é bastante utilizado, como nos coletores construídos por Goodman (1985), Valiente, Estrela e Corell (2004), Fischer e Still (2007), Estrela et al. (2008). Várias espessuras podem ser adotadas, sendo a de 0,8 mm muito comum. Outro material empregado é a linha de teflon, porém sua utilização se justifica quando a coleta tem por objetivo a realização de analises químicas da água, uma vez que este material é inerte, não contaminando a amostra (FISAK; TESAR; FOTTOVÁ, 2008). Normalmente, os coletores são dispostos de mais de uma harpa, melhorando o desempenho na coleta.

Os materiais usados na superfície de coletores de neblina apresentam vantagens e desvantagens, sendo necessário analisar os prós e contras na adoção de um deles. A favor da malha de polipropileno pesa o fato de ser o material mais empregado, possibilitando a comparação mais realista dos resultados obtidos nos diferentes sítios. É de fácil instalação na estrutura do coletor, que é mais simples e de baixo custo. Os coletores que usam a superfície do tipo harpa requerem, geralmente, uma estrutura mais elaborada para a passagem das linhas entre as partes superior e inferior do equipamento, encarecendo sua construção, que também demanda mais tempo.

Uma comparação da eficiência de coletores de malha com os de harpa feita por Fischer e Still (2007), evidenciaram que para uma mesma área de coleta, os primeiros tendem a reter mais água que os segundos. Esta maior retenção é causada pela aderência das gotas de água nos cantos da malha onde os fios se cruzam. Os coletores de malha geralmente levam mais tempo para saturar e, consequentemente, para gotejar a água coletada. Isto significa que a superfície de malha não “reage” rapidamente aos episódios de nevoeiro e pode perder eventos de baixa intensidade e de curta duração. Estes argumentos levaram os autores a preferir o uso de coletores tipo harpa em suas pesquisas.

Quanto ao desenho, normalmente são adotadas a forma plana e a cilíndrica. A primeira consiste em uma moldura retangular na qual é instalada a malha ou são passados verticalmente os fios de nylon ou de teflon. O modelo do coletor plano proposto por Schemenauer e Cereceda (1994b) é muito utilizado e consiste de uma

estrutura de metal rígido de 1 m x 1 m com malha de polipropileno. Para pesquisas nas ilhas Canárias, Marzol e Santos (2004) fizeram uso, além deste coletor, de outros com ¼ da sua dimensão. Goodman (1985) e Mousavi-baygi (2008) também usaram estrutura de ferro de 1 m^2, porém com superfície coletora de linhas de nylon. A água coletada é drenada para uma calha e dali para um reservatório até que seja feita sua medição, ou para um equipamento de determinação automática de volume.

Os coletores de forma cilíndrica também são amplamente utilizados (GOODMAN, 1985; PADILLA et al., 1996; ANIDO, 2002; ESTRELA et al., 2008; GOMEZ-PERALTA et al., 2008; MOUSAVI-BAYGI, 2008). A maior parte deles é inspirada no dispositivo proposto por Falconer e Falconer (1980), que consiste em uma ou duas superfícies de harpa de linhas de teflon dispostas entre dois discos horizontais de polipropileno de 25 cm de diâmetro, separados por várias hastes plásticas de um metro de altura. Esta estrutura é conectada a um funil que recebe a água interceptada e a conduz a um reservatório onde fica armazenada até sua mensuração. Alguns coletores são instalados diretamente sobre um pluviômetro (VOGELMANN, 1973; CAVELIER; SOLIS; JARAMILLO, 1996; ANIDO, 2002; GOMEZ-PERALTA et al., 2008).

Fischer e Still (2007) desenvolveram um coletor com desenho alternativo aos retangulares e aos cilíndricos, feito com dois painéis perpendiculares de intersecção em uma barra central vertical de PVC rígido. Os painéis consistem de duas camadas de linha de nylon esticadas verticalmente entre duas barras roscadas. Sob cada painel é instalada uma “calha” obtida do corte da secção longitudinal de uma mangueira plástica que recebe a água drenada dos fios de nylon. Na intersecção das mangueiras é feito um orifício para onde flui a água, daí para um funil e deste para um reservatório.

Os coletores mais usados nas pesquisas que envolvem a captação de água dos nevoeiros são os planos, devido ao seu desenho simples, à facilidade de construção e aos baixos custos. Em função de suas dimensões, geralmente de 1 m x 1 m, têm potencial para coletar grandes volumes de água. Estas dimensões possibilitam ainda a obtenção direta do volume de água em litros (ou mililitros) por metro quadrado ($L.m^{-2}$), a unidade mais comum nos estudos. Sua maior desvantagem reside no fato de que é sensível à direção dos ventos, isto é, ele coleta mais água quando os ventos são perpendiculares ao coletor e diminui sua eficiência quando os ventos sopram paralelamente a ele (JUVIK; NULLET, 1995;

SCHEMENAUER; CERECEDA, 1995; FISCHER; STILL, 2007).

Os coletores cilíndricos têm como principal vantagem captar água qualquer que seja a direção dos ventos (JUVIK; NULLET, 1995; FISCHER; STILL, 2007). Algumas dificuldades relacionadas a este tipo de dispositivo são a maior complexidade na construção e ao custo de produção mais elevado. Outro problema diz respeito ao volume de água que pode ser captado. Como cada evento de nevoeiro tende a ocorrer em um único sentido, a superfície de captação do equipamento é pequena e nem sempre coleta quantidade de água suficiente para sua mensuração, sobretudo quando o conteúdo de água do nevoeiro é baixo, os ventos são fracos ou o evento é de curta duração (SCHEMENAUER; CERECEDA, 1995).

Os sistemas de coleta acima descritos funcionam somente pela ação dos ventos que movem as gotículas de água dos nevoeiros em direção à superfície coletora. Não há qualquer mecanismo artificial que impele a entrada da massa de ar úmida no equipamento e, por isso, são genericamente denominados de “coletores passivos” (FISCHER; STILL, 2007; AL-HASSAN, 2009).

Uma das principais dificuldades que há na interpretação dos resultados das taxas de água obtidas com os coletores passivos consiste na distinção entre a água oriunda do nevoeiro e a proveniente da chuva. Alguns autores simplesmente subtraem o total de água do coletor de nevoeiro da quantidade de água medida em um pluviômetro instalado próximo a ele. A diferença obtida, teoricamente, seria a água do nevoeiro (VOGELMANN, 1973; CAVELIER; SOLIS; JARAMILLO, 1996; AL-JAYYOUSI; MOHSEN, 1999; PRADA; SILVA, 2001; ANIDO, 2002; PRADA et al., 2004). No entanto, quando há vento, este procedimento não é aconselhável e, possivelmente, induz a erros (SCHEMENAUER; CERECEDA, 1995). Para chuvas muito leves, parte da água pode aderir à superfície coletora, evaporar em seguida, levando a maiores leituras no pluviômetro que no coletor de nevoeiro. Em contrapartida, para chuvas de grande monta, que normalmente ocorrem associadas a ventos moderados ou fortes, o aumento da silhueta vertical do coletor de nevoeiro (em relação à área da seção transversal do pluviômetro) resultará em uma coleta inclinada, favorecendo o coletor de nevoeiro (JUVIK; EKERN, 1978). Um exemplo dessa situação foi observado em pesquisa realizada por Prada et al. (2004) na Ilha da Madeira. As taxas de água coletadas por “coletores padrão” quando houve chuva e nevoeiro foram o dobro das taxas de quando houve apenas nevoeiro. Os autores

conjeturaram ser possível que eles tenham superestimado os valores no primeiro caso ao não subtrairem toda a água da chuva efetivemente captada pelo coletor.

Alguns métodos foram desenvolvidos com o propósito de separar a componente água da chuva da de nevoeiro, como os propostos por Juvik e Ekern (1978) e Estrela et al.(2008). No entanto, eles não são de simples determinação, necessitando de informações sofisticadas (tamanho e ângulo de queda das gotas de chuva, dados detalhados de velocidade do vento para eventos muito bem definidos) e cálculos elaborados. Devido às complexas relações não lineares entre o tamanho das gotas de chuva, o ângulo de inclinação dessa e a velocidade do vento, é provável que qualquer expressão matemática desenvolvida para eliminar a precipitação vertical dos resultados introduzirá considerável incerteza (JUVIK; NULLET, 1995).

Para evitar a “contaminação” da água de nevoeiro pela chuva, há a opção de adicionar uma cobertura protetora sobre o coletor (JUVIK; NULLET, 1995; BRUIJNZEEL; EUGSTER; BURKARD, 2005; HAFKENSCHEID, 2000; MCJANNET; WALLACE, 2006; ESTRELA et al., 2008; HOLWERDA et al., 2010a). Esse expediente funciona de maneira adequada quando a chuva é vertical ou pouco inclinada. Porém, para precipitação com forte inclinação ou para a chamada “chuva dirigida pelo vento” *(wind driven precipitation*), quando a chuva se move quase que horizontalmente, esta alternativa pode não ser suficiente, sendo difícil medir, separadamente, a água de nevoeiro da de precipitação. Dessa forma, as medidas efetuadas, frequentemente, representam uma combinação dos dois processos (BRUIJNZEEL, 2001; BRUIJNZEEL; EUGSTER; BURKARD, 2005; MCJANNET; WALLACE, 2006; FRUMAU et al., 2011). Por exemplo, em estudo desenvolvido no norte da Costa Rica, 86% da água coletada tinha como origem a componente horizontal das chuvas dirigidas pelo vento (FRUMAL et al., 2011). A superestimativa das quantidades de água de nevoeiro coletadas devido ao recolhimento da chuva dirigida pelo vento no coletor, também foi aventada em pesquisa realizada nos Andes Peruano (GOMES-PERALTA et al., 2008).

Nas regiões tropicais, os nevoeiros frequentemente são acompanhados por chuva e/ou garoa. Essa última é composta de gotículas com tamanho entre 100 a 500 µm que, caracteristicamente, tem reduzida velocidade de queda (0,25 a 2 $m.s^{-1}$). Assim, mesmo sob ventos brandos, a garoa tende a cair com um grande ângulo em relação à vertical, sendo mais eficientemente coletada por um coletor de água de

nevoeiros que por um pluviômetro. Exceto sob condições de calmaria, as chuvas também caem com um anglo e não verticalmente. Assim, a tela vertical dos coletores de água de nevoeiro pode capturar a água das chuvas inclinadas, bem como das garoas dirigidas pelo vento e dos nevoeiros, enquanto os pluviômetros medem apenas as chuvas e (alguma) garoa, assumindo que a deposição de água de nevoeiro no pluviômetro é desprezível. Enquanto a precipitação inclinada pode ser estimada, não é possível separar a contribuição do nevoeiro da contribuição da garoa (HOLWERDA et al., 2010b).

Para estas situações, Daube et al.[3] (1987 apud BRUIJNZEEL; EUGSTER; BURKARD, 2005, p. 566) desenvolveram um “coletor ativo” de água de nevoeiro, que consiste de uma superfície do tipo harpa, instalada no interior de uma caixa de fibra de vidro a prova de chuva, através da qual o fluxo de ar é confinado por dois defletores. O defletor frontal acelera o ar que passa pelo dispositivo, fazendo com que as gotas de chuva sejam projetadas contra o defletor traseiro, de onde elas são drenadas para fora do equipamento. As gotas de água de nevoeiro, que são menores e mais leves, colidem com a harpa e são coletadas em um reservatório. O ar úmido é aspirado para o interior da caixa por uma ventoinha acoplada em sua parte posterior, que é movimentada por bateria automotiva ou energia elétrica.

As vantagens e desvantagens das duas categorias de coletores são: os coletores ativos são usados intensivamente nas coletas de água para realização de análises químicas, porém são mais complexos e caros. Os coletores passivos são baratos, podem ser usados em ambientes remotos onde não há energia elétrica, são facilmente instalados e relocados, são de fácil manutenção e apresentam baixa taxa de falhas de coletas sob condições ambientais severas (FISCHER; STILL, 2007).

3.3.2 Precipitação oculta em floresta

Até o momento, não há um protocolo estabelecido internacionalmente para o monitoramento da precipitação oculta em florestas (TANAKA et al., 2006). Vários métodos, com diferentes graus de sofisticação e complexidade, têm sido

[3] DAUBE, B. et al. Two new ground-level cloud water sampler designs which reduce rain contamination. **Atmospheric Environment**, v. 21, 893–900, 1987.

empregados, como o próprio uso de coletores de água de nevoeiro, a medição da precipitação efetiva, sensores micrometeorológicos, traçadores naturais e modelagem. Este texto atém-se ao chamado “método da medição da precipitação efetiva”, que é usado na presente pesquisa. Informações sobre os demais métodos estão disponíveis em Bruijnzeel (2001), Bruijnzeel, Eugster e Burkard (2005) e Holwerda et al.(2006).

O método de avaliação da precipitação oculta por meio de medições da precipitação efetiva, também denominado método do balanço hídrico do dossel, é o mais empregado nos estudos, sendo utilizado por vários autores (WEAVER, 1972; HUTLEY et al.,1997; PRADA; SILVA, 2001; FALLAS, 2002; HAFKENSCHEID et al., 2002; GABRIEL; JAUZE, 2004; HOLDER, 2004; PRADA et al., 2004; FIGUEIRA et al., 2006; TANAKA et al., 2006; MCJANNET; WALLACE; REDDELL, 2007; HOLWERDA et al., 2010a; HOLWERDA, et al., 2010b; PRADA et al., 2012).

Quando o episódio de nevoeiro ocorre sem a presença de chuva, a estimativa da precipitação oculta pelas medições da precipitação efetiva é feita de forma simplificada. Porém, quando ocorrem chuva e nevoeiro, essa avaliação se torna mais complexa. A aplicação do método frente a essas duas situações é detalhada a seguir.

3.3.2.1 Estimativa da precipitação oculta quando ocorre apenas nevoeiro

Na ausência de chuva, e com umidade proveniente do nevoeiro suficiente para saturar a copa das árvores, dois mecanismos de deposição da água no solo podem ocorrer; a transprecipitação – água de gotejamento proveniente do dossel - e o escoamento pelo tronco. Simultaneamente a estes processos e, logo após o encerramento destes, também há evaporação (Figura 4). Este fracionamento é expresso pela equação 1:

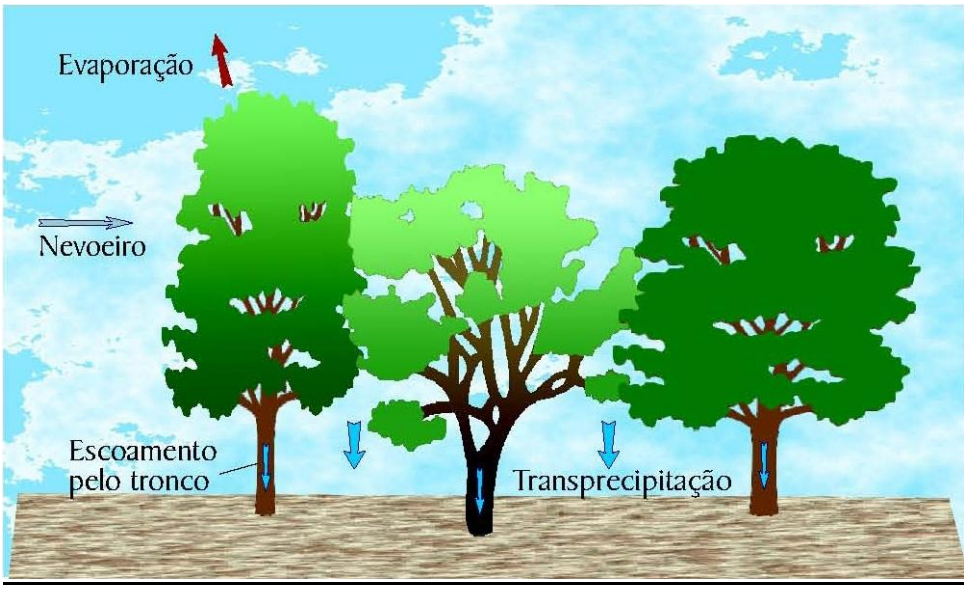


Figura 4. Processos hidrológicos em nível das copas das árvores quando ocorre apenas nevoeiro.

$$Po = E + Tr + Et \qquad .....(1)$$

onde, **Po** é a precipitação oculta, **E** é a evaporação da água da copa, **Tr** é a transprecipitação e **Et** é o escoamento pelo tronco, expressos em mm. À soma de Tr e de Et dá-se o nome de precipitação efetiva (**Pe**).

Ao contrário dos componentes da precipitação efetiva que podem ser medidos, a água evaporada das copas não é de fácil determinação, fato que dificulta o cálculo da precipitação oculta que efetivamente ocorre. Para solucionar este problema, normalmente, a evaporação é desconsiderada, obtendo-se um valor da precipitação oculta próximo do valor real, porém inferior a ele, denominada precipitação oculta líquida (BRUIJNZEEL; EUGSTER; BURKARD, 2005).

3.3.2.2 Estimativa da precipitação oculta quando ocorrem nevoeiro e chuva

No caso mais complexo, isto é, para episódios ou períodos em que além do nevoeiro há, também, incidência de chuva, a transprecipitação, o escoamento pelo tronco e a evaporação recebem contribuição de ambas as vias de molhamento da copa da árvore (Figura 5), sendo os processos hidrológicos relacionados pela equação 2:

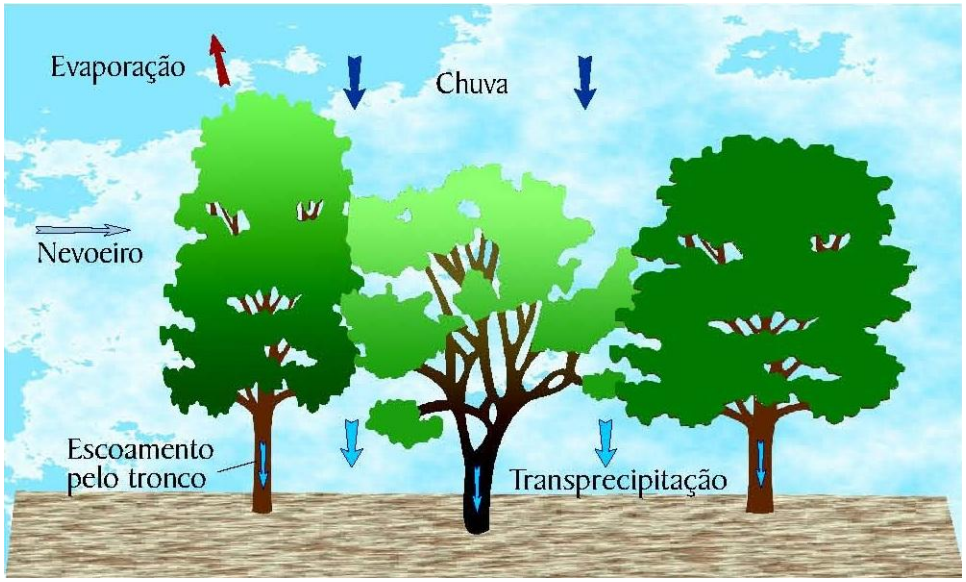


Figura 5. Processos hidrológicos em nível das copas das árvores quando ocorrem nevoeiro e chuva.

$$P + Po = \sum E + Tr + Et \qquad .....(2)$$

onde, **P** é a precipitação pluviométrica e **∑E** é a água do nevoeiro e da chuva evaporada do dossel.

Assim como para o caso dos eventos de nevoeiro sem chuva, a água evaporada das copas é, normalmente, desconsiderada na equação do balanço hídrico do dossel (BRUIJNZEEL; EUGSTER; BURKARD, 2005).

O método é fundamentado na comparação da precipitação efetiva com a precipitação pluviométrica para eventos ou períodos com e sem nevoeiro. Assim, para a estimativa da precipitação oculta quando ocorrem chuva e nevoeiro, é necessário, além da precipitação efetiva, obter a precipitação pluviométrica em área aberta. Precisa-se, também, separar os eventos de chuva sem nevoeiro dos eventos de chuva com nevoeiro. McJannet e Wallace (2006) apresentam a metodologia empregada em detalhes, que é transcrita de forma resumida a seguir.

Ao se “plotar” a precipitação efetiva (**Tr + Et**) com o respectivo valor de precipitação pluviométrica (**P**) no eixo cartesiano, é gerado um conjunto de dados que é formado por dois grupos distintos: um com dados obtidos em evento com ocorrência de nevoeiro, e também de chuva, e o outro com dados gerados apenas por chuva. Para o segundo grupo existe uma forte relação entre a precipitação (**P)** e a precipitação efetiva (**Tr + Et**), sendo possível estabelecer uma regressão linear para esses pontos, conforme a equação 3:

$$P = a.(Tr + Et) + b \qquad .....(3)$$

Na ausência de nevoeiro, ao se plotar a precipitação efetiva (**Tr + Et**) e a entrada total de água (**P + Po**), os pontos se ajustarão na mesma linha da equação 3 (pois **Po** é igual a zero). Por outro lado, na presença de nevoeiro, **Po** pode ser estimada como sendo a diferença entre a equação 3 e a precipitação pluviométrica medida **P**. Assim, rearranjando esta equação, é possível determinar **Po** conforme a equação 4:

$$Po = [a(Tr + Et) + b] – P \qquad .....(4)$$

Este procedimento para estimar a precipitação oculta é aplicado somente para eventos de precipitação pluviométrica que são suficientemente grandes para saturar as copas das árvores. Eventos de chuva insuficientes para saturar as copas não são incluídos na equação 4. Para estes eventos, assume-se que a precipitação efetiva é igual à chuva que passa diretamente entre os espaços vazios do dossel, sem tocar nas copas (o coeficiente de transprecipitação livre). Para esta situação, a precipitação oculta é calculada segundo a equação 5:

$$Po = [(1/g)(Tr + Et)] – P \qquad .....(5)$$

onde, **g** é fração de abertura da copa.

Para proceder à separação dos eventos de chuva sem nevoeiro dos eventos de chuva com nevoeiro, McJannet e Wallace (2006) propuseram o uso de coletores cilíndricos de nevoeiro protegidos contra a chuva, instalados próximos à área de determinação da precipitação efetiva. Os autores partem do pressuposto de que, se para um determinado evento há captação de água no coletor, esta tem como origem o nevoeiro. Não havendo coleta de água no dispositivo, assume-se que o evento é oriundo apenas de chuva.

Em resumo, o método necessita que se façam medições dos seguintes parâmetros:

- precipitação pluviométrica;
- transprecipitação;

- escoamento pelo tronco; e
- ocorrência ou não de nevoeiro.

Os passos para estimar a precipitação oculta (**Po**) são:

1. separar os dados de precipitação efetiva em eventos de precipitação pluviométrica com nevoeiro e sem nevoeiro;

2. definir uma regressão linear para eventos onde a entrada de água ocorra apenas pela chuva (**P**);

3. calcular **Po** pela diferença entre a **P** medida e aquela estimada pela equação linear;

4. quando a entrada de água para o dossel é menor que a capacidade de saturação das copas, a precipitação oculta é calculada pela equação 5.

O método funciona adequadamente quando há diferenças significativas na precipitação efetiva entre eventos com nevoeiro e eventos sem nevoeiro. Portanto, para locais onde a presença de nevoeiro é limitada, as regressões entre **P** e (**Tr + Et**) podem não ser significativamente diferentes, fazendo esse método ineficaz do ponto de vista estatístico (BRUIJNZEEL, 2001; BRUIJNZEEL; EUGSTER; BURKARD, 2005; MCJANNET; WALLACE, 2006). Isso foi constatado por Hafkenscheid (2000), em estudo conduzido em uma floresta tropical montana na Jamaica. A utilização dessa metodologia em um sítio pouco influenciado pelos nevoeiros (PMull), levou à estimativa de um valor de precipitação oculta maior que na floresta onde a incidência de nevoeiros é mais intensa (MMor), indicando as limitações desse procedimento para as condições que prevaleciam naquele ambiente.

Muitos autores consideram que quando a precipitação efetiva supera a precipitação pluviométrica, isto é, Pe > P, a água adicional no interior da floresta provém da interceptação da água de nevoeiro (WEAVER, 1972; CAVELIER et al., 1997; FALLAS, 2002; HOLDER, 2004; PRADA et al., 2004; FIGUEIRA et al., 2006; GOMEZ-PERALTA et al., 2008; PRADA et al., 2012) e a estimativa da precipitação oculta pode ser feita pelo cálculo do módulo da diferença entre a precipitação pluviométrica e a precipitação efetiva (módulo da interceptação negativa), conforme a equação 6:

$$Po = | P - Pe | \qquad .....(6)$$

Novamente, a precipitação oculta não é exatamente igual ao resultado da equação 6, uma vez que a evaporação e a armazenagem da precipitação pelas copas durante o processo de interceptação não são levadas em conta, sendo estimada a precipitação oculta líquida (FIGUEIRA et al., 2006).

Conquanto o método de avaliação da precipitação oculta por meio de medições da precipitação efetiva seja o mais usado, uma série de fatores pode agregar erros aos resultados. Quando há chuva e nevoeiro, a determinação da precipitação pluviométrica é um deles. Nas florestas de montanha, sob condições de incidência de vento em terrenos inclinados, pode haver uma entrada adicional de água através da chuva dirigida pelo vento, que depende da inclinação e da direção incidente da chuva, bem como de características do terreno, como a declividade (MCJANNET; WALLACE, 2006). A chuva dirigida pelo vento é parcialmente capitada pelos pluviômetros convencionais, podendo a precipitação pluviométrica ser subestimada (BRUIJNZEEL; EUGSTER; BURKARD, 2005).

A determinação da transprecipitação é outro fator condicionante do sucesso da aplicação desse método. Devido à elevada variabilidade desse processo em florestas tropicais, é imprescindível a instalação de um grande número de pluviômetros sob a copa das árvores (entre 20 e 30), bem como a realocação periódica desses equipamentos, para obter uma amostragem mais representativa desse processo e, assim, reduzir possíveis erros de estimativa da precipitação oculta (BRUIJNZEEL; EUGSTER; BURKARD, 2005). Uma opção ao uso de pluviômetros são as calhas, que apresentam grande superfície de captação e, portanto, maior possibilidade de amostrar a elevada variabilidade da transprecipitação.

A não consideração da evaporação da água interceptada pelo dossel é outro fator determinante no resultado final da precipitação oculta. Como já mencionado, ao adotar esse procedimento, o método proporciona somente uma estimativa mínima do processo (precipitação oculta líquida). Em alguns estudos, a evaporação tem sido estimada por modelos analíticos de interceptação da chuva pela floresta, como o modelo de Gash (1979)[4], ou usando a variante úmida da equação de Penman-Monteith (Monteith, 1965)[5], (HOLWERDA et al., 2006).

---

[4] GASH, J. H. C. Analytical model of rainfall interception by forests. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 105, p. 43-55, 1979.

[5] MONTEITH, J. L. Evaporation and the environment. **Symposium of the Society of Experimental Biology**, v. 19, p. 245-269, 1965.

A estimativa da precipitação oculta pelo módulo da diferença da precipitação pluviométrica e a precipitação efetiva, leva em conta apenas a contribuição da água do nevoeiro nos eventos em que os valores de precipitação efetiva superam os da precipitação pluviométrica. Desta forma, ignora-se volume de precipitação oculta que ocorre nos eventos em que a interceptação na floresta é positiva (FIGUEIRA et al., 2006). Alguns autores fazem severas restrições ao uso deste procedimento. Por exemplo, ao obter eventos com interceptação negativa em floresta tropical montana nos Andes Colombiano, Veneklaas e Van Ek (1990) sugeriram que o maior valor da transprecipitação em relação à precipitação pluviométrica pode ter sido consequência de erros realizados durante as coletas, ou mesmo de características das chuvas – muito intensas, grande volume, forma de granizo, dentre outros, sendo temeroso atribuir o ocorrido aos nevoeiros. Analisando os resultados de uma pesquisa desenvolvida por Vis (1986)[6], em local próximo ao estudado por eles, os autores contestaram a afirmativa de que as cinco coletas (período de duas semanas) de transprecipitação que excederam a precipitação pluviométrica durante 15 meses de medições tenham sido causadas pelo gotejamento da água de nevoeiro. Enfatizaram o fato de que foram usados apenas seis coletores de transprecipitação e opinaram que essas observações decorreram de erros de medição casualizados ou de fatores inerentes às chuvas.

[6] VIS, M. Interception, drop size distributions and rainfall kinetic energy in four Colombian Forest ecosystems. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 11, n. 6, p. 591-603.

3.4 Resultados de pesquisas e fatores que influenciam as taxas de coleta de água de nevoeiros

3.4.1 Coleta de água de nevoeiros por coletores passivos

Nas últimas décadas, muitas pesquisas sobre o potencial hidrológico dos nevoeiros têm sido realizadas em inúmeros países, sob as mais diferentes condições ambientais, como Estados Unidos (GOODMAN, 1985; JUVIK; NULLET, 1995; FISCHER; STILL, 2007), África do Sul (OLIVIER, 2002; OLIVIER; RAUTENBACH, 2002), Espanha (MARZOL, 2002; MARZOL; SANTOS, 2004; ESTRELA et al., 2008); Namíbia (SHANYENGANA et al., 2002); Yemen (OSSES; SCHEMENAUER; LEIBBRAND, 2004; SCHEMENAUER; OSSES; LEIBBRAND, 2004), Colômbia (GARCIA; ARANGO, 2004), Chile (CERECEDA et al., 2002; LARRAIN et al., 2002), Irã (MOUSAVI-BAYGI, 2008), Arábia Saudita (AL-HASSAN, 2009), Índia (SINGH; KAUSHIK; DUTTA, 2004), Ilha da Madeira (PRADA; SILVA, 2001; PRADA et al., 2004), Porto Rico (HOLWERDA; BRUIJNZEEL; SCATENA, 2010), dentre outros.

Dos diferentes aspectos estudados, aquele que tem recebido mais atenção diz respeito aos volumes de água que podem ser extraídos dos nevoeiros com o emprego de coletores passivos. Um dos estudos mais antigos que se tem registro foi realizado na localidade de Mariepskop, na África do Sul, nos anos 1969/1970. Com o objetivo de verificar a possibilidade de abastecer uma estação de radar da força área sul-africana, foram instalados dois coletores retangulares de água de nevoeiro. Em um período de 15 meses, a taxa média de água coletada foi de aproximadamente 11 $L.m^{-2}.d^{-1}$, sendo o montante de água retirada dos nevoeiros 4,6 vezes maior que o obtido com as chuvas (Schutte[7], 1971, apud OLIVIER, 2002, p. 349).

Um panorama geral dos valores obtidos nas pesquisas é dado na Tabela 1. Embora os resultados sejam de difícil comparação, pois os coletores são de diferentes tamanhos, formas e materiais utilizados na superfície de captação da

[7] SCHUTTE, J. M. **Die onttrekking van water uit die lae Wolke op mariepskop**. Pretoria: Divsion of Hydrological Research/Department of Water Affairs, 1971. (Technical note n° 20).

água, bem como a duração dos estudos é muito variável, é possível ter uma idéia de ordem de grandeza de coleta de água nas diferentes localidades. Por exemplo, no Yemen a quantidade de água coletada é a menor de todas, de apenas 0,02 $L.m^{-2}.d^{-1}$ (SCHEMENAUER; OSSES; LEIBBRAND, 2004), enquanto em Bica da Cana, na Ilha da Madeira (PRADA et al., 2004) e em Cerro Moreno, no Chile (LARRAIN et al., 2002), há possibilidade de coleta de expressivos volumes de água: 8,3 $L.m^{-2}.d^{-1}$.

Ainda da Tabela 1 pode-se abstrair a informação que para uma mesma região, a diversidade do potencial de coleta da água é muito grande. Isto fica claro quando se observa os valores obtidos em quatro sítios do Chile, localizados na costa do Oceano Pacífico. Usando equipamentos idênticos, foram determinadas taxas diárias de precipitação oculta entre 0,9 e 8,3 $L.m^{-2}.d^{-1}$ (LARRAIN et al., 2002).

Esta elevada variação do potencial de extração de água que há entre as diferentes regiões, e dentro de uma mesma área, é decorrente de fatores como o conteúdo de umidade do nevoeiro, a frequência com que ele ocorre ao longo do ano, a sua duração e a velocidade do vento. Estes, por sua vez, dependem da altitude e da presença de certos fatores climáticos regionais, como a distribuição de pressão atmosférica na área e a temperatura da superfície do mar. A direção e a velocidade do vento também são condicionados pela exposição do terreno e pela microtopografia da área (OLIVIER, 2002). Outro fator é a distância do sítio em relação à costa (MARZOL; SANTOS, 2004). Há tendência de diminuição na incidência de nevoeiros à medida que se afasta do mar. No Chile, Cereceda et al. (2002) coletaram um volume de água 8 vezes maior em um sítio localizado na costa, comparativamente a outro situado doze quilômetros da orla marítima.

O efeito da altitude sobre o volume de água que pode ser coletado é demonstrado pela comparação de dados obtidos na África do Sul (Tabela 1). Segundo Olivier (2002), o único fator que explica as diferenças verificadas nas taxas de coleta de água dos sítios Brand se Baai (0,3 $L.m^{-2}.d^{-1}$) e Kalkbaken se Kop (1,3 $L.m^{-2}.d^{-1}$) é a maior cota em que se encontra a segunda área. A diferença para mais de 118 metros, reflete no maior conteúdo de umidade do nevoeiro, bem como no aumento da velocidade dos ventos. A velocidade média do vento em Brand se Baai é de 4,3 $m.s^{-1}$, contra 5,2 $m.s^{-1}$ em Kalkbaken se Kop. O autor argumenta que apesar de pequeno, este parece ser um aumento significativo na velocidade do vento, sendo este responsável pelo aumento no volume de ar que se movimenta através da malha do coletor. A influência da altitude também foi constatada por Al-

Hassan (2009) na Arábia Saudita. Nos sítios com elevação de 3100 m acima do nível do mar, os valores foram quase o dobro dos registrados na cota de 2400 m, isto é, 6,4 $L.m^{-2}.d^{-1}$ contra 3,3 $L.m^{-2}.d^{-1}$.

Tabela 1 - Taxas diárias de coleta de água de nevoeiro em diferentes localidades.

Local	Altitude (m)	Precipitação anual (mm)	Taxa média diária ($L.m^{-2}.d^{-1}$)	Forma do coletor	Autor
Califórnia E.U.A.	550	-	2,7	Plano	Goodman (1985)
Merida Venezuela	2300	3124	0,8*	Plano	Ataroff (2002)
Guajira Colombia	612	234	1,4	Plano	Garcia e Arango (2004)
Cerro Moreno Chile	1150	9	8,3	Plano	Larrain et al. (2002)
Paposo Chile	750	9	3,4	Plano	
Falda Verde Chile	600	30	1,4	Plano	
C. Guatalaia Chile	1050	70	0,9	Plano	
Cruz de Gala Ilhas Canárias	1340	-	5,7	Plano	Marzol (2002)
Erjos Ilhas Canárias	1010	483	1,5	Plano	
Brand se Baai África do Sul	42	250	0,366	Plano	Olivier (2002)
Kalkbaken se Kop África do Sul	160	250	1,3	Plano	
Lambert's Bay África do Sul	60	250	0,17	Plano	
C. Columbina África do Sul	60	250	2,5	Plano	
C. Feiteiras Ilha da Madeira	1183	2200	2,9	Plano	Prada et al. (2004)
Bica Cana Ilha da Madeira	1560	2966	8,2	Plano	
Gobabeb Namíbia	408	21	0,1	Plano	Shanyengana et al. (2002)
Klipneus Namíbia	352	21	1,1	Plano	
Mayban Yemen	2030	-	4,5	Plano	Schemenauer, Osses e Leibbrand (2004)
Maswar Bait Sheim Yemen	2640	-	0,02	Plano	
Mt. Bartolo Espanha	736	643	2,0	Cilíndrico	Estrela et al. (2008)
Mt.Monduver Espanha	843	1046	7,3	Cilíndrico	

continua

continuação

Local	Altitude (m)	Precipitação anual (mm)	Taxa média diária ($L.m^{-2}.d^{-1}$)	Forma do coletor	Autor
Rayda Serve Arábia Saudita	3133	255	5,9	Plano	Al-Hassan (2009)
Al-Sahab park Arábia Saudita	3177	255	6,4	Plano	
Abha city Arábia Saudita	2400	255	3,3	Plano	
Luquillo Mountains Porto Rico	1010	4435	0,9*	Plano e Cilíndrico	Holwerda, Bruijnzeel e Scatena (2010)

* Valor estimado a partir da média horária citada no artigo.

Em pesquisa realizada ao longo de um transecto altitudinal (1800 a 3185 m) na Estação Científica de São Francisco, ao sul do Equador, Bendix, Fabian e Rollenbeck (2004) também observaram o aumento das taxas de coleta de água de nevoeiro com a altitude. Os autores deduziram que a principal causa foi o evidente incremento da velocidade do vento, de 2 a 3 $m.s^{-1}$ no vale, para mais de 16 $m.s^{-1}$ nos terrenos mais elevados.

Embora, geralmente, a ocorrência de nevoeiro em uma cadeia de montanhas seja influenciada pela altitude, outros parâmetros locais, como a forma do relevo, o aspecto da vertente e a posição do lado de barlavento de um maciço, podem ser mais importantes que a cota em relação ao nível do mar (BLÁS et al., 2002).

Os coletores passivos somente funcionam, porque o vento movimenta as gotículas de água do nevoeiro em direção à superfície de coleta do equipamento (SCHEMENAUER; CERECEDA, 1994a). Assim, a eficiência de coleta tende a aumentar com a velocidade do vento.

A importância dos ventos sobre a coleta de água dos nevoeiros pode ser confirmada pelos resultados de pesquisa desenvolvida por Schemenauer e Joe (1989), sobre a eficiência de coleta de um coletor plano com malha de polipropileno. Os autores constataram que para episódios de nevoeiro com ventos de 1,9 $m.s^{-1}$ a eficiência foi de apenas 26%, enquanto para ventos na faixa de 3,5 a 6,5 $m.s^{-1}$ ela aumentou para 66%.

Em estudo na região de Valencia, Espanha, Estrela et al. (2008) coletaram reduzidas quantidades de água sob condição de ventos fracos, em contraste com ventos mais fortes (acima de 13,8 $m.s^{-1}$), que proporcionaram a maior parte do volume total de água retido pelo equipamento. Aproximadamente 50% das

velocidades do vento registradas quando havia nevoeiro foram abaixo de 3,3 $m.s^{-1}$, porém eles produziram somente 25% do total anual do volume de água.

O efeito da velocidade do vento como um dos fatores que controlam a eficiência da coleta de água de nevoeiro pode ser verificado também na Tabela 2, que foi modificada de artigo que apresenta resultados de estudo realizado na região de Tenerife, nas Ilhas Canárias (MARZOL; SANTOS, 2004). Os maiores volumes de água coletados ocorreram no verão (junho, julho e agosto), quando os ventos foram mais intensos.

Tabela 2 - Valores médios de variáveis meteorológicas e da taxa mensal de coleta de água de nevoeiro em Tenerife, Ilhas Canárias. Modificado de Marzol e Santos (2004).

Mês	Temperatura (º C)	Precipitação pluviométrica (mm)	Umidade relativa (%)	Velocidade do vento ($m.s^{-1}$)	Volume de água ($L.m^{-2}$)
Jan.	10,8	85,0	81	4,6	101,8
Fev.	11,9	26,6	69	4,9	56,7
Mar.	11,7	27,5	77	5,3	79,8
Abr.	11,2	45,4	84	6,0	147,9
Maio	12,4	20,9	85	6,3	116,8
Jun.	13,6	12,0	90	8,5	239,1
Jul.	14,8	6,1	91	9,8	381,9
Ago.	16,3	4,5	87	8,2	260,3
Set.	16,2	13,4	88	6,5	153,9
Out.	15,7	46,8	79	4,6	95,5
Nov.	14,0	78,4	79	4,6	116,4
Dez.	12,2	100,4	81	4,2	115,2
Média/total	13,6	444,0	83	6,1	1865,3

Outro importante fator quanto ao volume de água coletado é a duração do nevoeiro (OLIVIER, 2002; BRUIJNZEEL; EUGSTER; BURKARD, 2005). Estrela et al. (2008) verificaram que quanto maior é a duração do episódio maior é a taxa de água coletada. Ambientes com elevado potencial hídrico tendem a apresentar nevoeiros que perduram por horas. No Parque Rural Teno, nas Ilhas Canárias, predominam episódios de nevoeiro que variam de duas a cinco horas consecutivas. O mais longo observado foi de 68 horas ininterruptas (MARZOL, 2002). Na região de Luquillo Mountains, Porto Rico, a duração média dos eventos de nevoeiro é de aproximadamente 34 horas (HOLWERDA; BRUIJNZEEL; SCATENA, 2010). Em outro estudo nesse mesmo local, Holwerda et al (2010a) presenciaram um evento de

188 horas (8 dias) de duração. Na África do Sul, os episódios duram de duas a seis horas, embora em algumas localidades eles persistam por mais de 24 horas, sendo documentado evento com 60 horas consecutivas (OLIVIER, 2002).

A frequência com que os episódios de nevoeiro ocorrem também influencia os montantes de água que podem ser coletados. Sítios com elevada incidência de nevoeiro ao longo do ano, normalmente, apresentam elevado potencial de coleta, como as Ilhas Canárias: 200 dias/ano (MARZOL; SANTOS, 2004), Ilha da Madeira: 235 dias/ano, Peru: 210 dias/ano, Chile e Equador: 365 dias/ano (PRADA et al., 2004), Guajira-Colombia: 325 dias/ano (GARCIA; ARANGO, 2004).

Sob condições climáticas estáveis ao longo do ano, os nevoeiros são produzidos com regularidade. Porém, quando elas são modificadas, em resposta a alterações globais ou locais, variações sazonais podem advir (MOUSAVI-BAYGI, 2008). Marzol (2002) observou que em agosto, com apenas cinco dias com ocorrência do fenômeno meteorológico, é menos eficiente para obter água dos nevoeiros no setor mais elevado do Parque Rural Teno. Abril, com 73% do tempo, é o mês mais propício**.** Na Namíbia, resultados de coleta de água apontaram o período de agosto a fevereiro como sendo o mais produtivo (SHANYENGANA et al., 2002). Na região de Tarapacá, no Chile, o inverno e a primavera são as estações mais profícuas, com as maiores taxas de coleta ocorrendo de julho a setembro. Verão e outono incluem os meses com menores valores, provocando o decréscimo da taxa anual média de coleta (CERECEDA et al., 2002).

As taxas de coleta dependem, ainda, do tipo de nevoeiro. O orográfico e o advectivo, que normalmente incidem sob ventos mais intensos, são os que mais cedem água aos coletores. O de radiação, que ocorre sob ventos calmos ou brandos, deposita escassas quantidades (BRUIJNZEEL; EUGSTER; BURKARD, 2005). Em regiões áridas, os nevoeiros de radiação apresentam baixo teor de umidade para serem coletados (SCIENCE IN AFRICA, 2002; ABDUL-WAHAB; LEAE, 2008). Cereceda et al. (2002) realizaram um dos poucos estudos onde foram feitas coletas de água dos três tipos de nevoeiro, na região de Tarapacá, no Chile. No litoral, sob nevoeiro advectivo, foram coletados 8,5 $L.m^{-2}.d^{-1}$. Em condições de nevoeiro orográfico, a 12 km da costa e a 1000 m de altitude, a taxa foi de 1,1 $L.m^{2}.d^{-1}$. A 50 km do mar, os episódios de nevoeiro de radiação que ocorreram durante quatro dias totalizaram apenas 750 mL.

3.4.2 Precipitação oculta estimada em florestas

Os estudos sobre a quantificação da precipitação oculta pela vegetação podem ser conduzidos sob duas abordagens distintas; uma mais simplista, que avalia este processo para árvores isoladas, adotada em alguns poucos experimentos, como os desenvolvidos por Gabriel e Jauze (2004) e Prada et al. (2004) e outra mais complexa, sob a cobertura contínua da floresta. Uma síntese dos resultados de pesquisas desenvolvidas sob a segunda abordagem, em diferentes condições climáticas ao redor do mundo, é apresentada na Tabela 3.

Os resultados são de difícil comparação, pois a duração dos estudos e os métodos usados são muito variáveis. Porém, é possível se ter uma idéia de ordem de grandeza de coleta de água nas diferentes localidades. Os dados da Tabela 3 demonstram que os nevoeiros podem constituir-se em importante fonte adicional de água para uma microbacia hidrográfica, com valores diários de precipitação oculta variando entre 0,4 a 5,5 $mm.d^{-1}$.

A Tabela 3 também apresenta que, comparativamente à precipitação pluviométrica, a precipitação oculta é de extrema importância para entrada de água em algumas localidades. Na Austrália, o gotejamento de nevoeiro pode chegar a 40% do volume de água das chuvas (MCJANNET; WALLACE; REDDELL, 2007). Para outras regiões, no entanto, esta importância é pouco significativa, não ultrapassando o valor de 2% (HAFKENSCHEID et al., 2002; GOMEZ-PERALTA et al., 2008; HOLWERDA et al., 2010b).

A relevância da precipitação oculta gerada pela floresta de uma determinada localidade não deve se restringir a mera comparação com a quantidade de precipitação pluviométrica. É necessário levar em conta, também, a sazonalidade das duas vias de entrada de água (EUGSTER, 2008). Em muitas áreas, a deposição da água de nevoeiro é um processo sazonal, que assume sua maior importância durante a estação seca (BRUIJNZEEL, 2001). É o caso da floresta tropical de altitude da Austrália. Nos sítios Upper Barron e Bellenden Ker, a precipitação oculta não foi uniforme ao longo do ano. Ela foi a principal fonte de água no período seco, contribuindo com mais de 60% da entrada de água para o sistema (MCJANNET; WALLACE; REDDELL, 2007). Liu et al. (2004) também observaram elevado efeito de sazonalidade para uma floresta tropical sazonal no sudoeste da China, com 86%

da deposição de água de nevoeiro ocorrendo na estação seca (novembro a abril). Os dados de precipitação oculta coletados por Holder (2004), em uma floresta tropical de montanha na Reserva da Biosfera de las Minas, Guatemala, demonstraram a existência de sazonalidade da precipitação oculta, com os maiores valores ocorrendo também na estação seca. Em contrapartida, em uma floresta de folhosas na Tailândia, as maiores contribuições de precipitação oculta ocorreram na estação das chuvas (0,57 a 0,83 $mm.d^{-1}$), comparativamente ao período seco (0,25 a 0,28 $mm.d^{-1}$) (TANAKA et al., 2006). Por outro lado, uma microbacia coberta com floresta de *Erica arborea* nas ilhas Canárias, exibiu marcante diferença da precipitação pluviométrica, com estações seca e chuvosa bem definidas, enquanto a precipitação oculta foi distribuída uniformemente ao longo do ano (RITTER; REGALADO; ASCHAN, 2008).

Assim como para interceptação por coletores, o conteúdo de umidade do nevoeiro, a frequência com que ele ocorre, a sua duração e a velocidade do vento são fatores relacionados ao clima e as condições de topografia, exposição das vertentes e altitude, que controlam a deposição da água pela vegetação (BRUIJNZEEL; EUGSTER; BURKARD, 2005).

Em floresta de *Erica arborea* na Ilha da Madeira, Prada et al. (2012) verificaram que nos meses de ventos mais fracos (verão) a quantidade de água de nevoeiro interceptada pela copa foi menor. O oposto correu nos meses com ventos mais intensos (inverno), havendo uma forte relação matemática entre ambos (R^2 igual a 0,82).

A ocorrência pouco frequente de nevoeiros e a baixa velocidade dos ventos (1,4 $m.s^{-1}$, em média), foram as principais razões para a precipitação oculta da ordem de apenas 2% da precipitação pluviométrica na floresta nebular de Veracruz, no México (HOLWERDA et al., 2010b). Nevoeiros densos (elevado conteúdo de umidade) que prevaleceram por 75% a 80% do tempo, ventos fortes (4 a 5 $m.s^{-1}$) e com direção constante, geraram taxa de 0,15 $mm.h^{-1}$ (3,6 $mm.d^{-1}$) de precipitação oculta em uma floresta nebular de Porto Rico (HOLWERDA; BRUIJNZEEL; SCATENA, 2010).

Embora a altitude constitua-se em um importante fator de influencia sobre a precipitação oculta, resultados obtidos em florestas tropicais da Austrália não indicaram uma ligação direta entre ambas. A exposição dos sítios aos ventos predominantes foi a condição determinante. A floresta localizada no cume da

montanha gerou maior deposição de água de nevoeiro que a floresta situada em um vale raso protegido contra as correntes de ar, mesmo a segunda encontrando-se em um sítio de maior altitude (MCJANNET; WALLACE; REDDELL, 2007).

Além dos fatores climáticos e das características do terreno, aspectos intrínsecos à vegetação influenciam a quantidade de precipitação oculta. Eles incluem a altura e a arquitetura do dossel florestal, a superfície da área foliar, a orientação das folhas e dos ramos das árvores (HOLDER, 2004) e o tipo de folha (FIGUEIRA, 2005). Vegetação de maior porte tende a captar mais água (WEAVER, 1972). As espécies não decíduas, com folhas em forma de agulha (aciculadas), apresentam configuração favorável à captação das gotículas de nevoeiro (RITTER et al., 2005; PRADA et al., 2012). Copas com folhagem adensada coletam mais água que as menos adensadas (PRADA et al., 2004). Espécies com grande superfície foliar são coletores ideais de água de nevoeiro (BURGESS; DAWSON, 2004). A interceptação nas florestas de coníferas tende a ser elevada (ELIAS; TESAR, 1994) e superior àquela verificada em florestas de espécies decíduas ou de folhosas (PATRÍCIO; GONÇALVES; DAVID, 1998), pois as coníferas estão mais adaptadas a captar a água dos nevoeiros (WEAVER, 1972).

Ao passar através de uma floresta em terreno plano ou pouco inclinado, os nevoeiros têm a velocidade e o conteúdo de umidade reduzidos, com consequente diminuição da deposição de água. As florestas dificultam tanto a movimentação lateral quanto a vertical do ar, de tal forma que a velocidade do vento decresce rapidamente ao penetrar o dossel, até tornar-se desprezível, dependendo de sua velocidade inicial. Também, como as gotículas dos nevoeiros são coletadas nas partes mais externas do dossel, as partes mais protegidas interceptam menos água. Assim, as condições de geração de precipitação oculta são melhores nas porções mais expostas da floresta, diminuindo além deste ponto (Barry; Chorley[8], 2003, apud PRADA et al., 2012, 4p.). Na Ilha da Madeira, em um povoamento de *Erica arbórea,* a taxa de precipitação oculta mostrou decréscimo logarítmico ao longo de um transecto de 400 metros de comprimento (PRADA et al., 2012).

A maior proporção da água coletada tem lugar no topo do dossel ou nas extremidades expostas a barlavento da floresta. A quantidade de água de nevoeiro interceptada pelas árvores pode ser incrementada com o aumento do espaçamento

[8] BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosphere, weather and climate**, 8th edn. Routledge: London, UK, 2003. 421 p.

entre elas, o que permite a entrada dos ventos carregados de umidade (SCHEMENAUER; CERECEDA, 1994a).

Tabela 3 - Valores de precipitação oculta em florestas, de seu percentual em relação à precipitação pluviométrica e da taxa diária em diferentes localidades.

Local	Altitude (m)	Tipo de vegetação	Prec. pluviométrica (P) (mm)	Precipitação oculta (Po) (mm)	(Po/P)x100	Prec. oculta diária ($mm.d^{-1}$)
Montanha Uyuca[1] Honduras	1795	Floresta nebular	1468,5	59,6	4,0	-
Gambubal State Forest[2] Australia	1000	Floresta subtropical úmida de altitude	968	343	35,4	-
La Mucuy[3] Venezuela	2300	Floresta nebular	3124	309	9,8	-
Monte de los Olivos[4] Costa Rica	1475	Floresta primária	3301	460	13,9	-
		Floresta baixa		194	5,8	-
Blue Montains[5] Jamaica	1820	Floresta alta-PMull	3060	93	3,4	-
		Floresta baixa-MMor		31	1,4	-
Sierra de las Minas[6] Guatemala	2500	Floresta nebular	2559	-	-	0,5 – 1
Hawai[7]	1170	Floresta tropical de montanha	4400	-	19,0	2,15
Luquillo Mountains[8] Porto Rico	1010	Floresta nebular elfin	4435	770	17,3	-
Kog-Ma[9] Tailândia	1268	Floresta tropical	6801	561 - 770	8,2 – 11,3	0,44 – 0,61

continua

continuação

Local	Altitude (m)	Tipo de vegetação	Prec. pluviométrica (P) (mm)	Precipitação oculta (Po) (mm)	(Po/P)x100	Prec. oculta diária ($mm.d^{-1}$)
North Queensland[10] Australia	1100	Floresta tropical de montanha	12248	565	4,6	0,4
	1160		7939	1192	15,0	1,1
	1050		7483	3241	43,3	2,5
	1560		12890	3473	26,9	5,5
C. Yanachaga[11] Peru	2815	Floresta tropical de montanha	2753	21	0,8	-
Xishuangbanna[12] China	600	Floresta tropical sazonal	1718	89,4	5,2	0,38
Central Veracruz [13] México	2100	Floresta nebular	3180	106	2,0	-

1. Stadtmuller e Agudelo (1990), 2. Hutley et al. (1997), 3. Ataroff (2002), 4. Fallas (2002), 5. Hafkenscheid et al. (2002), 6. Holder (2004), 7. Bruijnzeel; Eugster e Burkard (2005), 8. Holwerda et al. (2006), 9. Tanaka et al. (2006), 10. McJannet, Wallace e Reddell (2007), 11. Gomez-Peralta (2008), 12. Liu et al. (2008), 13. Holwerda (2010b).

3.5 Observações visuais de nevoeiros

Em muitas pesquisas sobre o potencial hidrológico dos nevoeiros, as medições originadas de fontes instrumentais são complementadas por outros tipos de informações: as observações visuais. Como, normalmente, os estudos são realizados em áreas remotas, com as várias dificuldades inerentes a essa situação, as observações fogem a uma padronização e são feitas em conformidade com os recursos humanos disponíveis para cada caso e adaptadas às condições do sítio. Alguns estudos são apresentados a seguir.

Marzol (2002) fez uso de observações visuais realizadas por guarda-parques no Parque Rural Teno, nas Ilhas Canárias. Do alto de uma torre de observação com vista panorâmica da área, os observadores registraram a localização e a frequência de ocorrência dos nevoeiros. Os métodos empregados foram:

- anotaram para cada hora do dia se o nevoeiro que passou pela torre de observação era “úmido”, com as gotículas de água depositando-se na estrutura metálica, ou se era nevoeiro “seco”, com baixa deposição de água sobre a estrutura;

- anotaram em quatro horários do dia (7 h 00 min, 14 h 00 min, 18 h 00 min e 22 h 00 min) a localização do nevoeiro.

As observações possibilitaram conhecer quais eram os períodos de ocorrência de nevoeiro no setor mais elevado do parque, bem como a sua característica - nevoeiro “úmido” ou “seco”. A partir dessas informações, concluiu-se que 11% dos dias tinham algum tipo de nevoeiro, que a maior freqüência estava entre 15 h 00 min e 23 h 00 min e que os eventos com mais umidade tinham o pico entre as 19 h 00 min e 23 h 00 min. Também foi possível ter uma noção da distribuição espacial e temporal dos nevoeiros na área.

Cereceda et al. (2002) efetuaram observações diárias da presença ou ausência de nevoeiros em vários sítios, como parte de um projeto de pesquisa para determinar a origem e o “comportamento” desse fenômeno meteorológico no deserto de Atacama, no Chile. Sem detalhar os procedimentos adotados, destacaram que as informações subsidiaram os conhecimentos adquiridos com as coletas de água por coletores planos e medição de atributos climáticos, realizados em quatro campanhas de campo de quinze dias, no inverno e no verão.

Observações de nevoeiros também subsidiaram um amplo projeto de pesquisa científica que analisou a viabilidade de usá-los para suplementação hídrica de áreas rurais na costa oeste da África do Sul. Registros de intensidade dos nevoeiros ao longo de 30 anos foram feitos por operadores de três estações meteorológicas oficiais, a partir de observações diárias realizadas as 8 h 00 min, 14 h 00 min e 20 h 00 min. A intensidade dos nevoeiros foi representada por meio de códigos: 0, 1 e 2, indicando nevoeiro fraco, moderado e forte, respectivamente. Esses códigos foram abalizados na visibilidade horizontal, variando de 600 a 1000 m para nevoeiros fracos, 300 a 600 m para moderados e menos que 300 m para fortes. Os dados obtidos contribuíram para estabelecer um padrão de intensidade dos nevoeiros. Também foi feito uso de informações obtidas por “observadores de nevoeiro” - um grupo de voluntários que se propôs a registrar a incidência e a duração dos episódios de nevoeiros. Os dados foram agregados a outros elementos estudados e contribuíram para a elaboração de um mapa de distribuição de nevoeiro naquele país (OLIVIER, 2002).

Como parte de uma investigação sobre a variação temporal e espacial dos nevoeiros nas montanhas Sudetes, no oeste da Polônia, Blás et al. (2002) utilizaram dados de observação visual coletados no período de 1961 a 1990, em uma estação meteorológica da Universidade de Wroclaw, no Mt. Szrenica. O conjunto de dados incorporou observações horárias que continham características de nebulosidade e da intensidade dos nevoeiros, expressa pela visibilidade: (500 a 1000 m) nevoeiro fraco, (200 a 500 m) nevoeiro moderado e (abaixo de 200 m) nevoeiro denso. Algumas das informações obtidas foram:

- em média, ocorrem 274 dias com nevoeiro ao ano;
- o tempo total de duração dos nevoeiros foi de 3900 horas/ano, que corresponde a 44,5% do ano;
- em média, são observados 53 episódios de nevoeiro com duração diária ao ano;
- o mais longo episódio de nevoeiro teve duração de 371 horas (15,5 dias);
- os nevoeiros muito densos prevalecem durante 86% do tempo em que esse fenômeno meteorológico ocorre.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Características gerais da área de estudo

O L.H.F.W.E. está instalado no núcleo Cunha do Parque Estadual da Serra do Mar, no Município de Cunha, Estado de São Paulo, entre os paralelos 23º 13’ 28’’ e 23º 16’ 10’’ de latitude sul e os meridianos 45º 02’ 53’’ e 45º 05’ 15’’ de longitude oeste de Greenwich (CICCO, 2009), (Figura 6). Situa-se na vertente continental e encontra-se, em linha reta, a quinze quilômetros da costa do litoral norte do Estado (ARMANI, 2004), (Figura 7).

A área faz parte da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, região do Vale do Paraíba, que na sua parte mais elevada é formada pelas bacias hidrográficas dos Rios Paraitinga e Paraibuna (PRANDINI et al., 1982). O núcleo abrange, em nível regional, uma parte do alto ao médio Vale do Rio Paraibuna, pertencente ao Planalto de Paraitinga, no Planalto Atlântico.

As configurações topomorfológicas do local são resultantes dos produtos da atuação da erosão sobre a estrutura tectônica. Há predominância de espigões com cimos ondulados e traçados sinuosos, com altitudes que ultrapassam os 1000 metros e 15º de declividade, configurando a aparência de “mares de morros” ou de “meias-laranjas” (ALMEIDA, 1974; FURIAN; PFEIFER, 1986). As classes de níveis de altitude no núcleo Cunha são distribuídas, num plano geral, entre 1000 e 1228 m (FURIAN, 1987).

A formação geológica da área pertence ao domínio tectônico do Terreno Embu, formada por depósitos terrígenos de origem incerta do Neoproterozóico ou Pré-Cambriano, com predomínio de gnaisses e presença esparsa de migmatitos e granitos (CICCO, 2009).

Os solos do núcleo Cunha são classificados como Latossolo Vermelho Amarelo Câmbico (CICCO, 2009). São ácidos e pobres em minerais, apresentam textura grosseira, elevada porosidade e boa permeabilidade. São susceptíveis a erosão e a escorregamentos (FURIAN; PFEIFER, 1986).

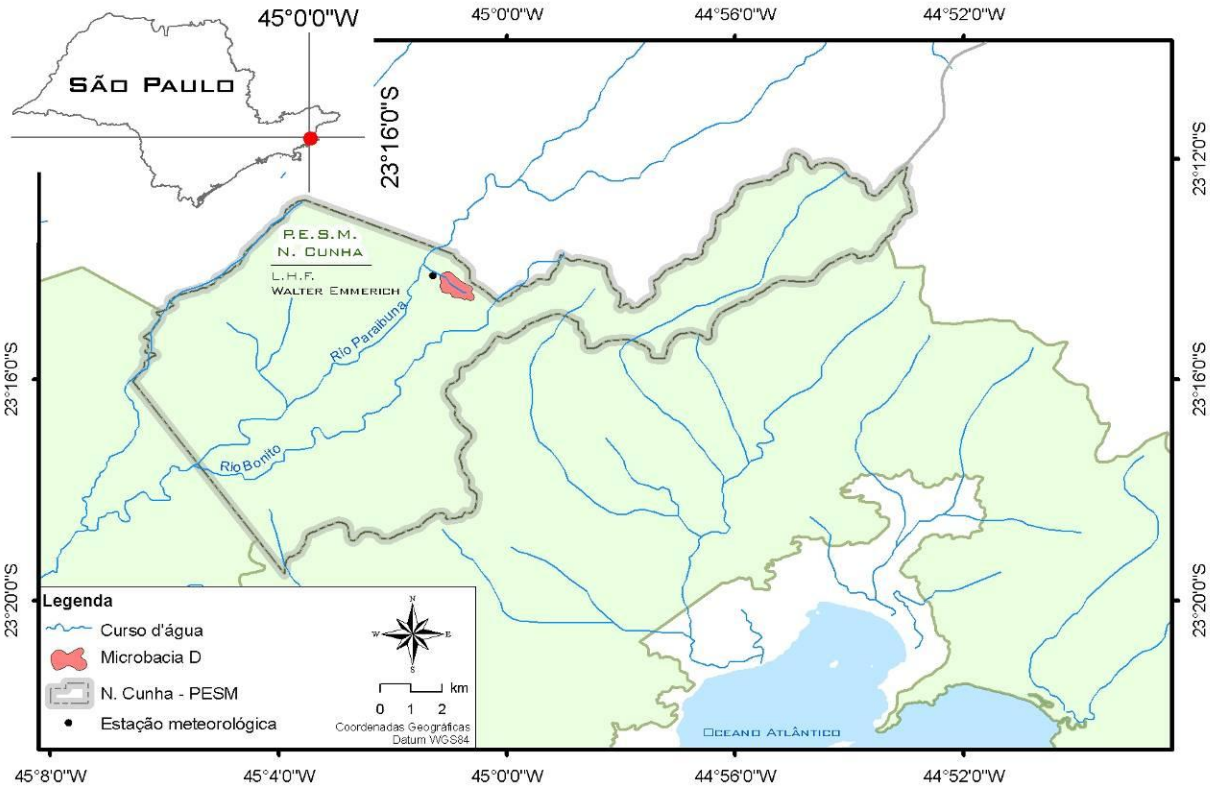


Figura 6. Localização do Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich-L.H.F.W.E., Cunha, SP. (Fonte: Carta Departamento de Estradas e Rodagem. Escala 1:250.000. Ano 2005. Adaptação: Kanashiro, 2013).

Figura 7. Imagem de satélite com indicação da localização do L.H.F.W.E. (Fonte: imagem de satélite do programa Google Earth v.5.0, 2009).

O local situa-se no clima regional caracterizado pelo predomínio das massas tropicais. As massas polares são pouco frequentes e conduzem à existência de um período menos úmido. A menor penetração do ar polar nesta área reduz a quantidade das precipitações. A diminuição progressiva das chuvas frontais de sul para norte conduz, em geral, ao bom tempo. Ainda, a proximidade da Serra do Mar com o Oceano Atlântico, neste trecho do Estado de São Paulo, é responsável pela existência de pluviosidade no inverno. A influência orográfica neste caso é principalmente exercida sobre a Massa Tropical Atlântica que, embora naquela estação tenda à estabilidade e ao bom tempo, produz chuva na orla litorânea (MONTEIRO, 1973).

O tipo climático da classificação de Köppen que prevalece no núcleo Cunha é Cwb: clima temperado chuvoso e moderadamente quente, com preponderância de chuvas em verões brandamente quentes (LUIZ, 2008).

A precipitação pluviométrica média anual no núcleo Cunha, obtida a partir da série histórica do período de maio de 1982 a dezembro de 2012 do pluviógrafo da estação meteorológica do L.H.F.W.E. é de 2015,7 mm, com valor mínimo de 1491,3 mm e máximo de 3169,0 mm. As chuvas no período úmido (outubro a março) são normalmente concentradas e de elevada intensidade. Há registro de episódio ocorrido em 23 e 24 de janeiro de 1985, quando precipitaram 430 mm em 24 horas (DOMINGUES; MATTOS; FURIAN, 2001). No período menos chuvoso (abril a setembro), ocorrem chuvas mais uniformes, que podem se estender durante o dia (JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY, 1986).

O regime da temperatura do ar na região pode ser assim descrito: os meses mais quentes são janeiro, fevereiro e março. A partir de abril há uma progressiva diminuição da temperatura média até julho, mês que, em geral, apresenta os menores valores, que eventualmente podem ser negativos. A partir de agosto as temperaturas aumentam gradualmente até dezembro (ARMANI, 2004). A temperatura média anual no núcleo, estimada com dados da série histórica do período de 1983 a 1998, é de 16,7 °C (CICCO, 2004).

A área apresenta elevada umidade relativa do ar ao longo do ano, como decorrência da proximidade com o Oceano Atlântico. Os maiores valores são registrados em janeiro, fevereiro e março e os menores em julho, agosto e setembro (ARMANI, 2004). A umidade relativa média mensal do ar nos meses úmidos está entre 80% e 85%, sendo inferior a 80% no restante do ano (JAPAN

INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY, 1986). Eventos extremos são raros, mas podem ocorrer.

Com dados de velocidade e direção dos ventos obtidos entre 1980 e 1988 na estação meteorológica do L.H.F.W.E., Veneziani (2011) observou que o quadrante oeste (W) demonstrou a maior participação porcentual no total de fluxos com, aproximadamente, 17% do tempo. Seguindo a tendência de predomínio dos quadrantes interiores, NW apresentou cerca de 15%, seguido de perto por fluxos de N, cujo percentual foi de 13%. Os setores oceânicos, como E, SE e S, tiveram, por outro lado, contribuições menos expressivas comparativamente aos demais, constituindo pouco menos de 21% do todo de fluxos trabalhados, contrapondo-se ao que se esperava encontrar como predominante na região. Porém, nos três primeiros anos os ventos oriundos do litoral contribuíram mais efetivamente para o total dos fluxos atmosféricos, com os seguintes percentuais: 40%, 46% e 65%. Quando as direções foram analisadas sob o espectro da sazonalidade, constatou-se que, em geral, foram preferenciais as participações de ventos continentais nos meses de primavera, verão e outono, enquanto mostraram-se crescentes os fluxos marítimos durante o inverno. O ano de 1982 fugiu a tendência geral observada, quando os ventos oceânicos predominaram amplamente nas quatro estações, com participações que variaram de 61% a 67% em relação ao conjunto das direções.

O regime de velocidades obteve média anual baixa, de 2 $m.s^{-1}$, concentrado na faixa de 1,0 a 1,5 $m.s^{-1}$. As velocidades médias mais intensas foram percebidas no verão e no outono, com pico em janeiro (2,1 $m.s^{-1}$) e as mais amenas no inverno e início da primavera (1,7 $m.s^{-1}$). Mais de 55% do total de dias tiveram ventos brandos, com valores entre 0,5 e 2,0 $m.s^{-1}$. Os ventos mais fortes foram incomuns, permanecendo na faixa de 6 a 7 $m.s^{-1}$ para não mais que 1% do tempo.

Um resumo dos atributos climáticos no L.H.F.W.E. é apresentado na Tabela 4.

O núcleo Cunha sofre a ação de nevoeiros orográficos, que resultam do transporte do ar úmido do mar em direção ao continente pelos ventos da brisa marítima, que atua na região. Ao encontrar a escarpa da Serra do Mar, o ar é forçado a subir adiabaticamente sendo condensando em pequenas gotículas que se mantêm suspensas na atmosfera (Figura 8). Como decorrência destas condições, episódios de nevoeiros são frequentes nessa região (Figuras 9, 10, 11), envolvendo todo o núcleo (JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY, 1980;

ARCOVA, 1996). Ocorrem em associação com precipitações orográficas e chuvas ou garoas dirigidas pelo vento, mas também podem advir na ausência destas.

A despeito da grande frequência dos nevoeiros orográficos, os nevoeiros de radiação e de vapor também incidem com assiduidade no laboratório (Figuras 12 e 13). Os primeiros normalmente começam no início da noite, quando as temperaturas diminuem e a umidade do ar aumenta e dissipam-se no alvorecer. São mais comuns no inverno e outono. Os segundos ocorrem nas primeiras horas da manhã, junto aos corpos d’água que existem no local.

Tabela 4 - Resumo dos atributos climáticos no L.H.F.W.E., Cunha, SP.

Mês	Temperatura do ar (°C)			Umidade relativa (%)			Velocidade média vento ($m.s^{-1}$)	Direção do vento mais frequente*	Precipitação pluviométrica média (mm)
	media	máxima absoluta	mínima absoluta	média	máxima absoluta	mínima absoluta			
Janeiro	20,3	34,4	6,4	81,1	98,5	22,6	2,2	W	307,6
Fevereiro	20,7	33,0	9,7	77,3	100,0	16,6	1,9	W	242,3
Março	20,0	32,9	6,6	81,2	100,0	27,5	2,0	W	253,6
Abril	18,1	32,0	2,5	82,3	100,0	29,0	2,0	W	152,6
Maio	15,6	30,6	0,3	81,0	100,0	23,9	2,6	NW	91,5
Junho	13,8	29,1	-0,1	77,7	99,5	17,2	1,8	NW	60,9
Julho	12,8	29,3	-0,9	77,5	99,4	15,1	1,9	NW	66,7
Agosto	14,1	33,1	0,3	78,1	99,4	13,8	1,9	W	53,1
Setembro	15,2	34,4	-0,2	80,4	100,0	15,7	1,7	W	132,8
Outubro	16,6	35,4	2,4	81,2	100,0	16,2	1,9	W	163,0
Novembro	18,5	33,0	4,2	80,7	100,0	19,5	1,8	E	209,0
Dezembro	19,4	31,4	5,0	81,9	100,0	21,4	1,9	NW	278,1

Observações: 1. Os dados de temperatura e umidade do ar e de velocidade e direção dos ventos referem-se ao período de 1980 a 1988; 2. Os dados de precipitação pluviométrica referem-se ao período de maio de 1982 a dezembro de 2012 do pluviógrafo da estação meteorológica; 3. Direção do vento obtida considerando apenas 8 quadrantes.

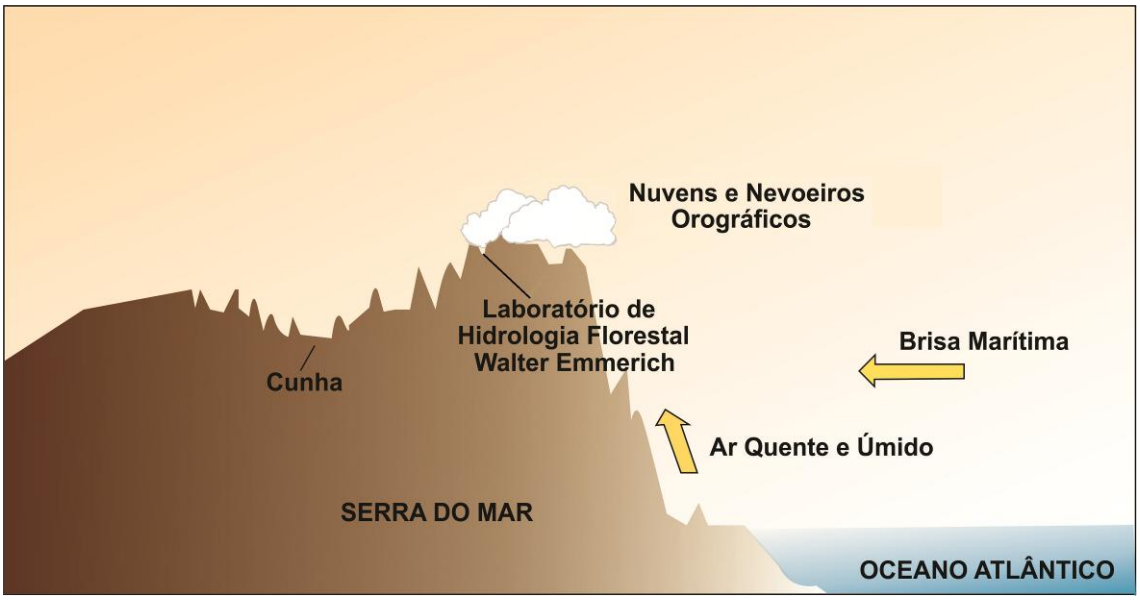


Figura 8. Esquema simplificado dos mecanismos de formação de nuvens e nevoeiros orográficos na Serra do Mar, região de Cunha, SP.

Figura 9. Ocorrência de nevoeiro orográfico na região de Cunha, onde está localizado o L.H.F.W.E. (Foto: Emerson Galvani, 14/09/2009, 17 h 00 min).

Figura 10. Nevoeiro orográfico envolvendo a Floresta Ombrófila Densa Montana no L.H.F.W.E. (Foto: Francisco C. S. Arcova, 17/03/2013).

Figura 11. Vista do interior da Floresta Ombrófila Densa Montana no L.H.F.W.E. durante episódio de nevoeiro orográfico. (Foto: Francisco C. S. Arcova, 27/10/2010).

Figura 12. Fim de episódio de nevoeiro de radiação no L.H.F.W.E. (Foto: Francisco C. S. Arcova, 22/06/2011, 7 h 00 min).

Figura 13. Nevoeiro de vapor sobre lago existente no L.H.F.W.E. (Foto: Francisco C. S. Arcova, 19/08/2010, 7 h 30 min).

O núcleo Cunha insere-se nos domínios do bioma Mata Atlântica. A cobertura vegetal original da região é classificada como Floresta Ombrófila Densa, formação Montana (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2012).

Há grandes fragmentos de floresta natural secundária em regeneração, que cobrem os morros e acompanham a rede hidrográfica da bacia do Rio Paraibuna (ARCOVA; CICCO; HONDA, 2002). Este tipo de vegetação predomina no interior do núcleo Cunha, com o porte das árvores tendendo a aumentar quando se caminha em direção ao núcleo Santa Virginia do mesmo parque, havendo remanescentes de mata primária no local.

A floresta é rica em epífitas, com orquídeas e bromélias habitando os ramos e caule das árvores. Nos locais mais úmidos são encontrados troncos de árvores mortas e rochas cobertos por fina camada de briófitas (Figura 14), características de ambientes nebulares.

Figura 14. Árvores com epífitas no caule e nos ramos, e tronco de árvore morta e rochas recobertos por briófitas no piso da floresta do L.H.F.W.E. (Fotos: Francisco C. S. Arcova, 18/09/2012).

4.2 Características da microbacia experimental “D”

A microbacia experimental “D” (Figura 15) é drenada pelo Córrego do Barracão, afluente do Rio Paraibuna. Está localizada no extremo norte do núcleo Cunha. Com 56 ha de superfície, apresenta 183 metros de amplitude hipsométrica, sendo a menor cota no nível de 1045 m e a maior em 1228 m (Figura16). Suas principais características físicas são resumidas na Tabela 5.

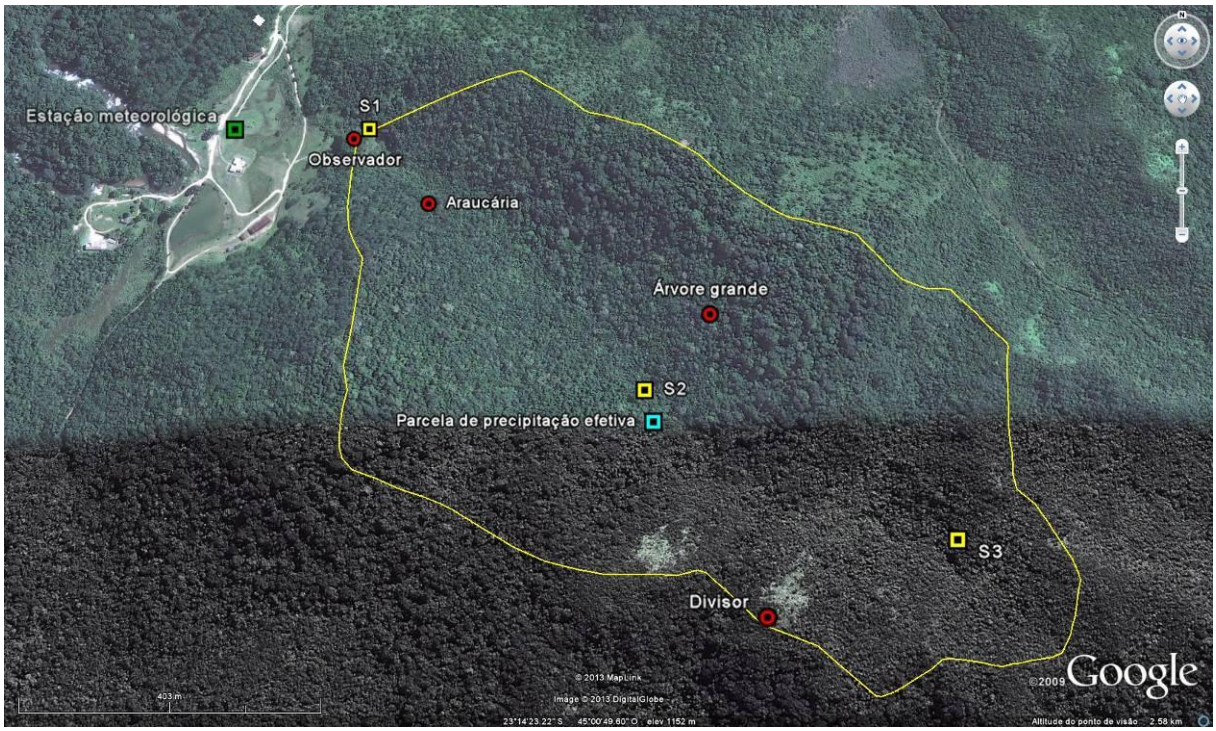


Figura 15. Vista geral da microbacia experimental “D” e de seu entorno. (Fonte: imagem de satélite do programa Google Earth v.3.0, 2009).

Tabela 5 - Características físicas da microbacia “D”. Adaptado de Arcova (1996).

Área (ha)	56,0
Comprimento do curso d’água principal (m)	1260,0
Comprimento total dos cursos d’água (m)	1550,0
Ordem (Sthraler)	2ª
Densidade de drenagem (km/km^2)	2,8
Declividade média do canal (°)	3,2
Perímetro (m)	3450,0
Fator de forma	0,353
Declividade média da microbacia (°)	12,6

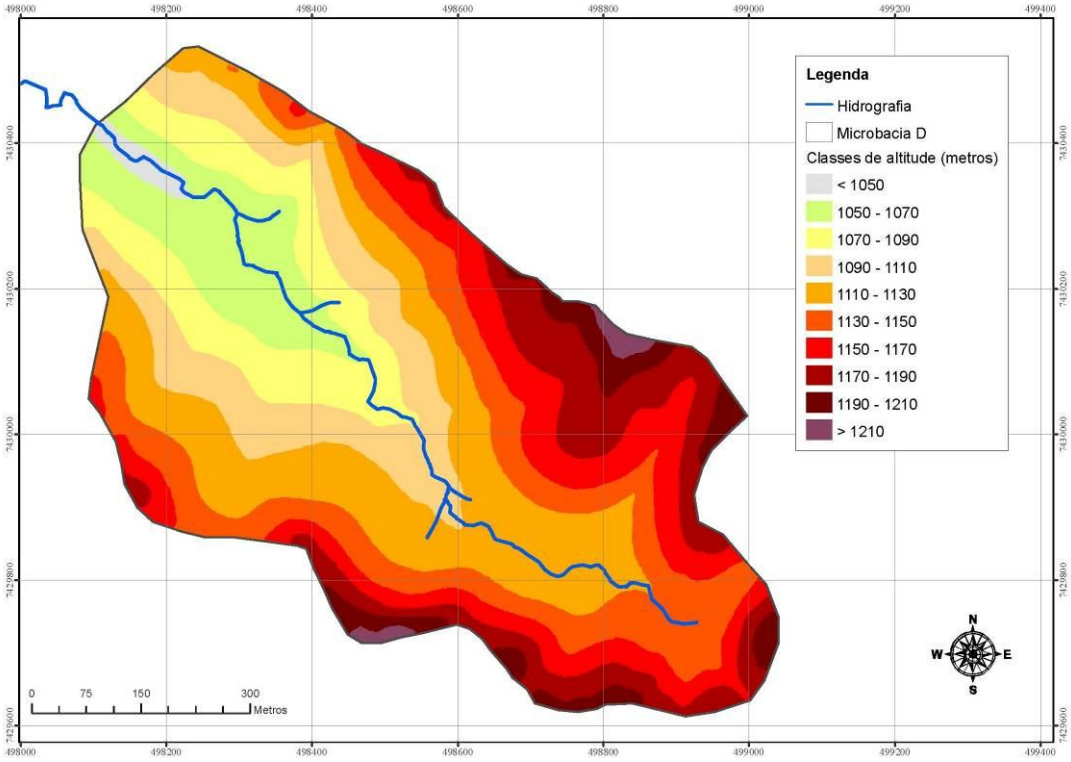


Figura 16. Carta hipsométrica da microbacia “D”. (Fonte: Carta planialtimétrica da bacia “D”. IF e JICA. Escala 1:5000. Ano 1986. Adaptação: Veneziani, 2011).

Domingues, Mattos e Furian (2001) distinguiram os domínios da alta, média e baixa microbacia: entre 1228 a 1150 m prevalecem os divisores de água com topos convexos que delimitam o setor mais elevado; na média microbacia compreendem as áreas entre 1150 a 1110 m e ocorre o domínio de divisores de água com topos convexos e arredondados; o setor da baixa microbacia está delimitado entre 1110 e 1045 m, com predominância de topos arredondados e a maior porção de planície aluvial.

Na microbacia “D” há trechos com faces íngremes e exposição de paredes rochosas e trechos com faces pouco íngremes à arredondadas. Os terrenos com declividade mais acentuada, dispersos espacialmente e predominantemente localizados próximos aos divisores d’água, apresentam declividades entre 30° e 44° (ARCOVA, 1996), (Figura 17).

Carvalho et al. (1990) realizaram levantamento dos solos que, de acordo com a atual classificação (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1999), são: Latossolos; Associação de Latossolos e Neossolos Litólicos, Solos Gleissolos Melânicos, Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos.

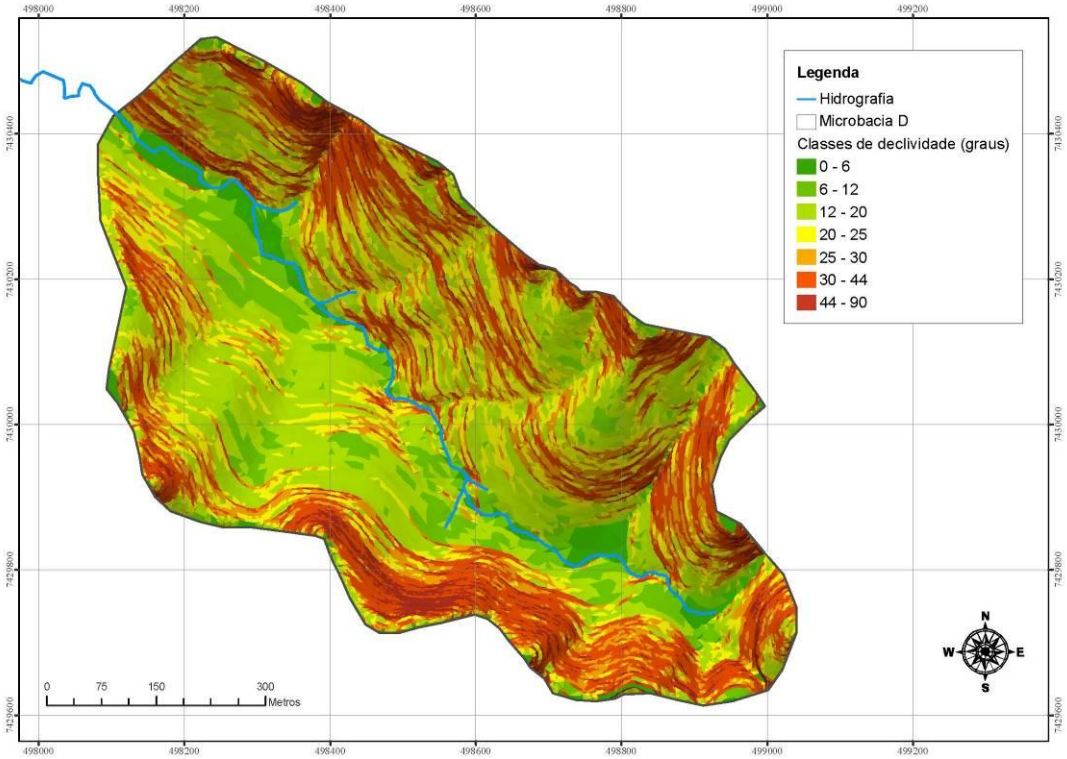


Figura 17. Carta clinográfica da microbacia “D”. (Fonte: Carta planialtimétrica da bacia “D”. IF e JICA. Escala 1:5000. Ano 1986. Adaptação: Veneziani, 2011).

A microbacia apresenta, predominantemente, cobertura de floresta secundária. Encontra-se em processo natural de recuperação da vegetação, que foi cortada em meados de 1950 e substituída por pastagens, sendo menos degradada nos terrenos de maior inclinação.

Domingues, Mattos e Furian (2001) mapearam a cobertura vegetal da microbacia “D” (Figura 18). Identificaram diferentes estádios naturais de desenvolvimento da vegetação, que passam pelo estádio inicial de regeneração, composto, predominantemente, por vegetação de porte arbóreo baixo e esparso até o estádio avançado de regeneração, onde há o predomínio de árvores altas e densamente espaçadas. O compartimento representado pela vegetação em estádio médio de regeneração, composto por arbóreo de porte médio e denso, é o mais representativo na microbacia, ocorrendo nos setores menos íngremes do relevo. No setor inferior da microbacia, junto ao seu exutório, foram plantadas mudas de *Araucaria angustifolia*, atualmente árvores adultas, com sub-bosque bem formado, caracterizando-se por vegetação nativa em franca recuperação natural.

Aguiar et al. (2001) efetuaram levantamento florístico das espécies arbóreas e arbustivas da microbacia “D”. Encontraram 168 espécies, 89 gêneros e 47 famílias. Identificaram que nos estádios iniciais da sucessão predominam as famílias Melastomataceae, Solanaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae, Mimosaceae e Myrsinaceae. Nos estádios posteriores destacaram-se as Lauraceae, Myrtaceae, Celastraceae e Rubiaceae. As famílias com maior número de espécies foram Lauraceae (22), Melastomataceae (16), Myrtaceae (15), Solanaceae (13) Asteraceae (11), que representam 46% das espécies detectadas. Das espécies encontradas, 28% são pioneiras, 20% são secundárias iniciais, 39% secundárias tardias e 13% clímax, o que revela que a área está em rápido processo de recuperação.

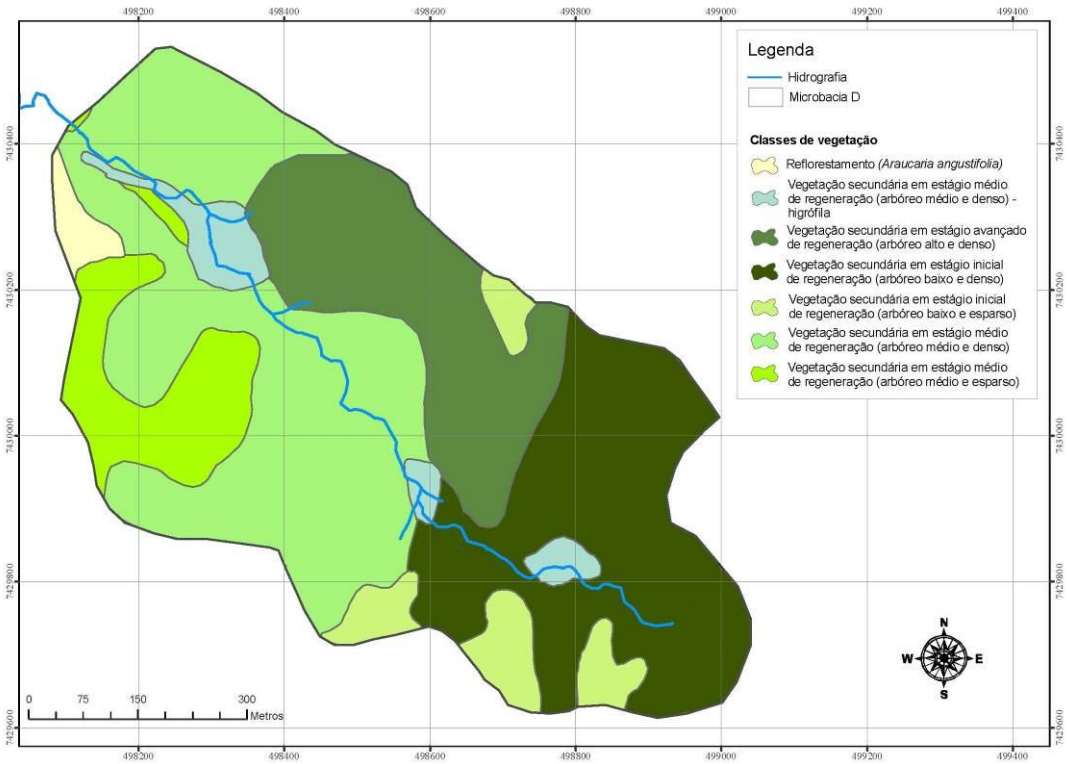


Figura 18. Carta de vegetação da microbacia “D”. (Fontes: Domingues, Mattos e Furian (2001) e Carta planialtimétrica da bacia “D”. IF e JICA. Escala 1:5000. Ano 1986. Adaptação: Veneziani, 2011).

A precipitação pluviométrica anual média na microbacia, estimada a partir da série histórica de seus quatro pluviógrafos para o período de 1983 a 1998 (16 anos), é de 2205,5 mm, com valores extremos de 1769,3 mm em 1997 e 3040,0 mm em 1985 (CICCO, 2004).

4.3 Instrumentos utilizados

4.3.1 Coletores de água de nevoeiros

Para avaliação das taxas de coleta de água dos nevoeiros no L.H.F.W.E. e em três setores da microbacia “D”, e para testar o desempenho dos coletores de água, foram usados coletores passivos tipo “harpa”, nas formas plana e cilíndrica, construídos manualmente.

4.3.1.1 Coletores planos

O coletor plano (Figura 19) consiste em uma estrutura de ferro de área de captação de nevoeiro de 1 m x 1 m. Suas partes superior e inferior são construídas com barra cilíndrica maciça de ½ polegada de diâmetro e 1,30 m de comprimento, onde são soldadas barras roscadas de 5/16 de polegada de diâmetro e um metro de comprimento. As laterais são confeccionadas em estrutura tubular de 2 cm x 3 cm e 2,40 m de comprimento. Toda a estrutura é pintada com tinta antiferrugem e montada com parafusos, arruelas e porcas. Para evitar que a tensão dos fios que formam o painel coletor da água deforme a estrutura, duas barras de ferro são fixadas entre as barras superior e inferior do quadro.

As ranhuras das barras roscadas são usadas para a passagem do fio de poliamida (linha de nylon) de 0,80 mm de espessura, formando um painel de duas camadas do tipo “harpa”. A água de nevoeiro coletada é drenada para uma calha feita de chapa galvanizada de 0,50 mm de espessura, com 10 cm de largura x 1,06 m de comprimento, com altura das laterais de 7 cm e 35 cm, proporcionando inclinação de 15° ao fundo da mesma. Por intermédio de uma mangueira plástica ligada a um dreno na base da calha, a água é conduzida para um reservatório, de onde é retirada para medição de seu volume. Para evitar a entrada de água da chuva no reservatório, um funil plástico com a “boca” virada para baixo é instalado sobre ele.

O conjunto é fixado por parafusos a dois caibros de madeira, através de furos feitos nas estruturas tubulares do coletor. Para proporcionar maior estabilidade ao equipamento, fios de aço são amarrados às suas extremidades e presos ao solo através de estacas metálicas. O coletor é instalado a uma altura de 2,5 m do solo.

Os volumes de água coletados em mL equivalem a $mL.m^{-2}$, uma vez que a área do coletor é de $1m^2$.

Figura 19. Vista geral de um coletor plano de água de nevoeiro instalado no L.H.F.W.E. (Foto: Francisco C. S. Arcova, 23/08/2010).

4.3.1.2 Coletores cilíndricos

A estrutura do coletor cilíndrico é feita em ferro, com dois anéis de 26 cm de diâmetro confeccionados a partir de barras roscadas de 5/16 polegadas, soldados a quatro barras de 0,6 cm de espessura e 46 cm de comprimento. Ela recebe duas

demãos de tinta antiferrugem. Assim como para o coletor plano, as ranhuras das barras roscadas são usadas para a passagem do fio de poliamida, formando um painel de duas camadas do tipo “harpa”. A estrutura é acoplada a um funil plástico com 29 cm de diâmetro de abertura, cuja finalidade é drenar a água coletada para uma garrafa plástica de 1 litro de capacidade de armazenamento (Figura 20).

Um dos coletores foi montado sobre a carcaça de um pluviômetro desativado e não acoplado a um funil e a uma garrafa plástica, como nos demais dispositivos. Suas dimensões também diferiram dos demais, sendo 43 cm de altura e 23 cm de diâmetro, respectivamente.

Os coletores foram instalados a uma altura de 2,5 a 3,0 m do solo. Os volumes de água por unidade de área ($mL.m^{-2}$) são obtidos fazendo-se a divisão das quantidades de água coletadas (mL) pela área da seção transversal do coletor.

Figura 20. Vista geral de um coletor cilíndrico de água de nevoeiro instalado no L.H.F.W.E. (Foto: Francisco C. S. Arcova, 13/04/2010).

4.3.2 Parcela para determinação da precipitação oculta na floresta

O método usado para a estimativa da precipitação oculta na floresta da microbacia “D” foi o da medição da precipitação efetiva (transprecipitação + escoamento pelo tronco) sob o dossel (BRUIJNZEEL; EUGSTER; BURKARD, 2005).

Para determinação dos dois processos foi implantada uma parcela de 500 m^2 (20 x 25 m) na porção mediana da microbacia (Figura 15, indicado pelo retângulo azul). Neste local, a vegetação é a mais representativa da área, classificada como secundária em estádio médio de regeneração, composto por arbóreo de porte médio e denso (DOMINGUES; MATTOS; FURIAN, 2001). Ela possui 52 árvores com DAP[9] igual ou maior que 10 cm, distribuídas em 16 famílias (duas indeterminadas) e 22 espécies (duas indeterminadas), com predomínio de *Cyathea delgadii, Alchornea triplinerviam* e *Bathysa australis* (Tabela 6). As principais características da parcela estão resumidas na Tabela 7.

Tabela 6 - Espécies de árvores da parcela para determinação da precipitação oculta na microbacia “D”.

N° de Identificação da árvore	DAP (cm)	Altura (m)	Espécie	Família
1	11+9*	9	*Casearia sylvestris*	Salicaceae
2	10	6	*Cyathea delgadii*	Cyatheaceae
3**	15	5	*Alchornea triplinervia*	Euphorbiaceae
4	54	12	*Vernonia puberula*	Asteraceae
5	30	20	*Bathysa australis*	Rubiaceae
6	10	3	*Alchornea triplinervia*	Euphorbiaceae
7	12,5	9	*Miconia latecrenata*	Melastomataceae
8**	18	18	*Alchornea triplinervia*	Euphorbiaceae
9	12	12	*Rudgea sessilis*	Rubiaceae
10	17+14*	12	*Bathysa australis*	Rubiaceae
11	51+31*	20	*Bathysa australis*	Rubiaceae
12	10	3	*Cyathea delgadii*	Cyatheaceae
13**	14	10	*Myrcia splendens*	Myrtaceae
14	14	12	*Myrcia splendens*	Myrtaceae
15	14	5	*Cyathea delgadii*	Cyatheaceae

continua

[9] DAP: diâmetro à altura do peito.

continuação

N° de Identificação da árvore	DAP (cm)	Altura (m)	Espécie	Família
16	10	5	*Myrsine gardneriana*	Myrsinaceae
17	14+6*	5	*Mollinedia* sp.	Monimiaceae
18	22	6	*Cyathea delgadii*	Cyatheaceae
19**	12	5	*Cyathea delgadii*	Cyatheaceae
20	26	7	*Cyathea delgadii*	Cyatheaceae
21	11	6	*Sapium glandulosum*	Euphorbiaceae
22	13	7	*Euterpe edulis*	Arecaceae
23	17+8*	10	*Myrcia splendens*	Myrtaceae
24	12	12	*Myrsine gardneriana*	Myrsinaceae
25	22+13*	16	*Hieronyma* sp.	Phyllanthaceae
26	15	11	*Bathysa australis*	Rubiaceae
27	26	20	Indeterminada sp. 1	Indeterminada 1
28**	39	18	*Vernonia puberula*	Asteraceae
29	28	18	*Bathysa australis*	Rubiaceae
30	28	20	*Cinnamomum triplinerve*	Lauraceae
31	32	20	*Hieronyma* sp.	Phyllanthaceae
32**	23	20	*Ocotea dispersa*	Lauraceae
33	16	17	*Miconia cabucu*	Melastomataceae
34**	14	18	*Bathysa australis*	Rubiaceae
35**	26	18	*Alchornea triplinervia*	Euphorbiaceae
36	40	22	*Miconia latecrenata*	Melastomataceae
37	18	15	*Alchornea triplinervia*	Euphorbiaceae
38	20	15	*Alchornea triplinervia*	Euphorbiaceae
39	12	10	*Ficus luschnathiana*	Moraceae
40	21	12	*Miconia latecrenata*	Melastomataceae
41	10	15	*Miconia doriana*	Melastomataceae
42	12	10	*Eugenia* sp.	Myrtaceae
43	56+22*	18	*Myrsine gardneriana*	Myrsinaceae
44**	13	12	*Ocotea dispersa*	Lauraceae
45	26	18	*Ocotea dispersa*	Lauraceae
46	33	20	Indeterminada sp. 2	Indeterminada 2
47	17	7	*Coussapoa microcarpa*	Urticaceae
48	11	4	*Cyathea delgadii*	Cyatheaceae
49	15	15	*Cinnamomum triplinerve*	Lauraceae
50	29	12	*Myrsine gardneriana*	Myrsinaceae
51	21	10	*Rudgea sessilis*	Rubiaceae
52**	33+10*	12	*Myrcia splendens*	Myrtaceae

*Árvores com bifurcação abaixo de 1,30 m do nível do solo foi medido o diâmetro das duas ramificações.**Árvores que receberam dispositivos de coleta de água de escoamento pelo tronco.

Tabela 7 - Características da parcela para determinação da precipitação oculta na microbacia “D”.

Latitude	23°14’ 22,6” S
Longitude	45° 00’ 52,1” O
Altitude (m)	1112,0
Declividade média (°)	17,3
N° total de árvores	52
N° total de espécies arbóreas	22
Área basal ($m^2.ha^{-1}$)	98,2
Altura média das árvores (m)	12,3
Índice de área foliar*	3,5
Fração de abertura do dossel (%)*	4,9

* Índice de área foliar e fração de abertura do dossel calculados com o programa Gap Light Analyzer (GLA), desenvolvido por Frazer, Canham e Lertzman (1999), a partir de fotografia hemisférica obtida no centro da parcela em 27/03/2012.

4.3.2.1 Transprecipitação

Na quantificação da transprecipitação foram utilizados 25 pluviômetros de 314,16 cm^2 de superfície coletora (Nakaasa Corporation). Eles foram instalados a 1,5 m do solo por meio de suportes feitos de estaca de madeira e tubo de PVC (Figura 21). Uma proveta plástica de 10 mL de capacidade foi conectada à extremidade do funil de cada pluviômetro para facilitar a medição de pequenos volumes de água. Quando a capacidade volumétrica da proveta é excedida, um orifício feito em sua parte superior drena a água para o reservatório do pluviômetro, de onde é feita a medição com a proveta específica do equipamento (Figura 22).

A parcela de 500 m^2 foi subdividida em áreas de 10 m^2 (2,5 m x 4,0 m). No centro de cada uma delas foi fixado um suporte para pluviômetro, sendo estes identificados com numeração de 1 a 50. Para maximizar a probabilidade de amostrar a transprecipitação, a cada semana foi feito rodízio dos equipamentos através de sorteio aleatório de 25 suportes.

A transprecipitação na parcela em cada evento foi calculada pela média aritmética das quantidades medidas nos 25 pluviômetros.

Figura 21. Pluviômetros para medição da transprecipitação na parcela para determinação da precipitação oculta na microbacia “D”. (Foto: Francisco C. S. Arcova, 17/03/2011).

Figura 22. Detalhe de pluviômetro usado na determinação da transprecipitação. (Foto: Francisco C. S. Arcova, 17/03/2013).

4.3.2.2 Escoamento pelo tronco

Para a determinação do escoamento pelo tronco foram selecionadas 10 entre as 52 árvores da parcela, identificadas por duplo asterisco (**) na Tabela 6. Nelas, foram instalados dispositivos confeccionados com espuma de poliuretano, mangueira e galão plástico (Figura 23), semelhantes aos usados por Arcova, Cicco, e Rocha (2003). A quantidade de água escoada pelo tronco de todas as árvores da parcela foi obtida a partir da extrapolação da soma do volume coletado pelas 10 árvores amostradas para as 52 árvores da área, conforme feito por Cicco et al. (1986/88). A conversão do volume em mililitros (mL) para milímetros de altura da água (mm) foi feita pela equação 7:

$$Et\ (mm) = [\ (Et\ (mL)N/n)/1000]/A \qquad .....(7)$$

onde, **Et (mm)** é o escoamento pelo tronco na parcela em mm; **Et (mL)** é o volume do escoamento pelo tronco das 10 árvores amostradas em mL; **N** é o número de árvores da parcela; **n** é o número de árvores amostradas; **A** é a área da parcela (m^2).

Figura 23. Árvore com dispositivo para coleta de água de escoamento pelo tronco na parcela para determinação da precipitação oculta na microbacia “D”. (Foto: Francisco C. S. Arcova, 17/03/2011).

A precipitação pluviométrica no aberto foi medida com um pluviômetro idêntico aos usados para quantificação da transprecipitação, instalado em uma clareira de 20 metros de diâmetro, junto ao pluviógrafo 2 (P2) da microbacia, a aproximadamente cem metros da parcela experimental.

4.3.3 Velocidade e direção dos ventos

Devido ao fato de que o desempenho da coleta de água de nevoeiro pelos coletores passivos, assim como a interceptação pelo dossel florestal, dependem fortemente dos ventos, dados de direção e velocidade desse atributo climático foram obtidos durante a pesquisa. Para tanto, foi utilizado um anemógrafo eletrônico de calda e hélice (modelo 726, Nakaasa Corporation), instalado na estação meteorológica do laboratório (Figura 24). Os registros foram feitos em folha de papel contínuo, em intervalos horários, e correspondem ao valor integrado de cada hora.

Figura 24. Anemógrafo da estação meteorológica do L.H.F.W.E. (Foto: Francisco C. S. Arcova, 20/01/2011).

4.4 Métodos

4.4.1 Distribuição espacial e temporal da ocorrência de nevoeiros na microbacia “D”

Para estudar a distribuição espacial e temporal da ocorrência de nevoeiros na microbacia “D”, foram feitas observações de visibilidade de três referências visuais situadas a distâncias conhecidas no interior da área (Tabela 8). Elas foram efetuadas de um ponto localizado na saída da microbacia, que permitiu aos técnicos de campo do laboratório enxergar o maior espaço a céu aberto da área (Figura 15, indicado pela palavra “observador”, e Figura 25). Foram adotados códigos numéricos para identificação da presença de nevoeiro nos locais onde se localizam as referências visuais. Os códigos são assim descritos: **código 4** - o divisor topográfico está visível (não há nevoeiro na microbacia), **código 3** - o divisor topográfico não está visível, mas a árvore grande está (entre 30% e 50% da microbacia é coberta por nevoeiro), **código 2** – a árvore grande não está visível, mas a araucária está (entre 50% e 80% da microbacia é coberta por nevoeiro), **código 1** – a araucária não é visível (entre 80% e 100% da microbacia está coberta por nevoeiro). Na Figura 26 é apresentada imagem da microbacia “D” sob os códigos 4 e 3 e na Figura 27 sob os códigos 2 e 1.

As observações estenderam-se por 36 meses, abrangendo o período de outubro de 2009 a setembro de 2012.

Tabela 8 - Informações sobre as referências visuais adotadas para os códigos de visibilidade na microbacia “D”.

Referência visual	Altitude (m)	Distância em relação ao observador (m)
Araucária	1063	150
Árvore grande	1194	700
Divisor topográfico	1221	950

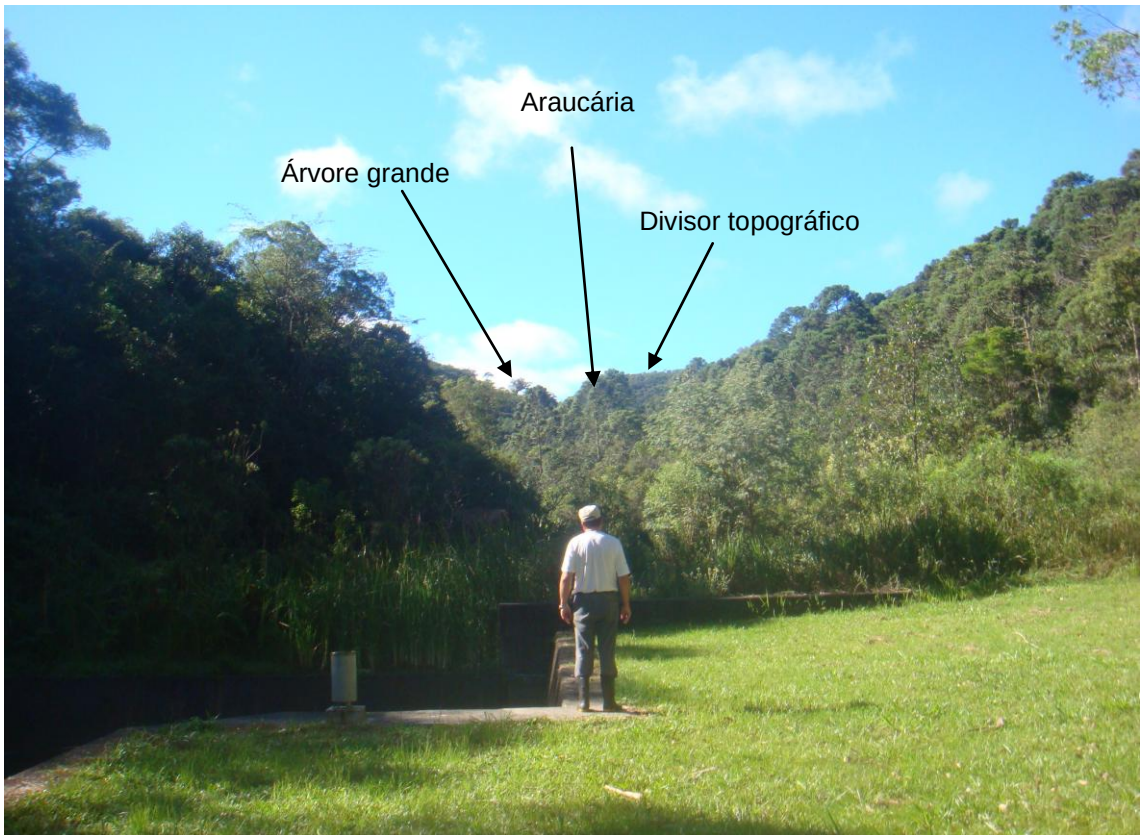


Figura 25. Técnico de campo do L.H.F.W.E. durante observação de visibilidade na microbacia “D”. (Foto: Francisco C. S. Arcova, 13/04/2010).

Figura 26. Microbacia “D” em dois momentos: (a) sob código de visibilidade 4; (b) sob código de visibilidade 3. (Fotos: Francisco C. S. Arcova, 13/04/2010 e 20/01/2011, respectivamente).

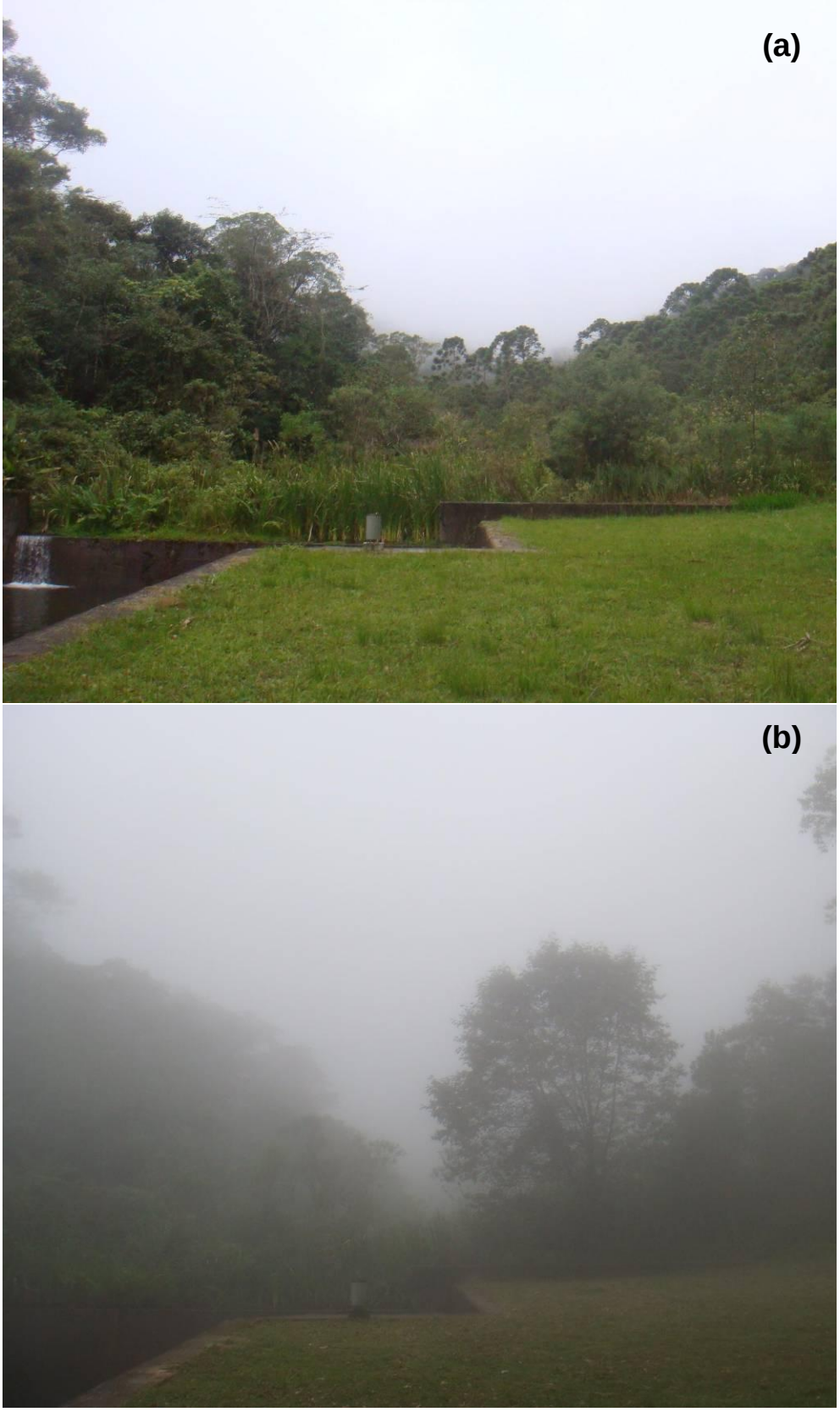


Figura 27. Microbacia “D” em dois momentos: (a) sob código de visibilidade 2; (b) sob código de visibilidade 1. (Fotos: Francisco C. S. Arcova, 15/04 e13/11/2012, respectivamente).

4.4.2 Desempenho dos coletores e avaliação do potencial de coleta de água de nevoeiros no L.H.F.W.E.

Os coletores foram instalados na estação meteorológica do L.H.F.W.E. (Figura 15, indicado pelo quadrado verde, e Figura 28), sendo três cilíndricos e um plano (Figura 29). Dois dos três coletores cilíndricos foram abrigados das chuvas. Um por meio de uma chapa de compensado naval de 1,6 m x 1,6 m, suspensa por intermédio de quatro caibros, inspirada em cobertura usada por McJannet e Wallace (2006). O outro, por intermédio de uma cobertura cônica de chapa galvanizada de 60 cm de diâmetro, fixada a uma estrutura de vara de eucalipto, abalizada em coletor empregado em estudos nas florestas montanhosas do Havaí (JUVIK; NULLET, 1995). A parte superior dos coletores foi fixada a 10 cm da cobertura. O terceiro coletor, instalado sobre a carcaça do pluviômetro desativado, foi mantido totalmente exposto às chuvas. O coletor plano permaneceu descoberto. Ele foi conectado a um pluviógrafo Campbel modelo Rain Collector II de 4,9 mL/báscula, de maneira a registrar o volume de água automaticamente. Para evitar possíveis perdas de dados devido a um eventual problema de funcionamento do pluviógrafo, o coletor também foi dotado de um galão plástico de armazenamento de água.

A avaliação do potencial de coleta de água dos nevoeiros no L.H.F.W.E. foi feita com base nos dados obtidos no coletor cilíndrico coberto com placa de compensado naval e no coletor cilíndrico descoberto. As coletas no primeiro equipamento foram iniciadas em outubro de 2009 e no segundo em maio de 2010. Elas foram encerradas em setembro de 2012. Essas informações foram complementadas com os registros do pluviógrafo acoplado ao coletor plano, que foram usados para verificar a duração dos episódios de nevoeiro. Devido a problemas de funcionamento desse equipamento, houve descontinuidade na coleta de dados. Os primeiros registros foram feitos entre outubro e novembro de 2010 e os restantes entre setembro e novembro de 2012.

Para a avaliação do desempenho dos coletores, foi usada a série de dados do período de 01 de outubro de 2010 a setembro de 2012.

Figura 28. Vista geral dos coletores de água de nevoeiro instalados na estação meteorológica do L.H.F.W.E. (Foto: Francisco C. S. Arcova, 07/04/2011).

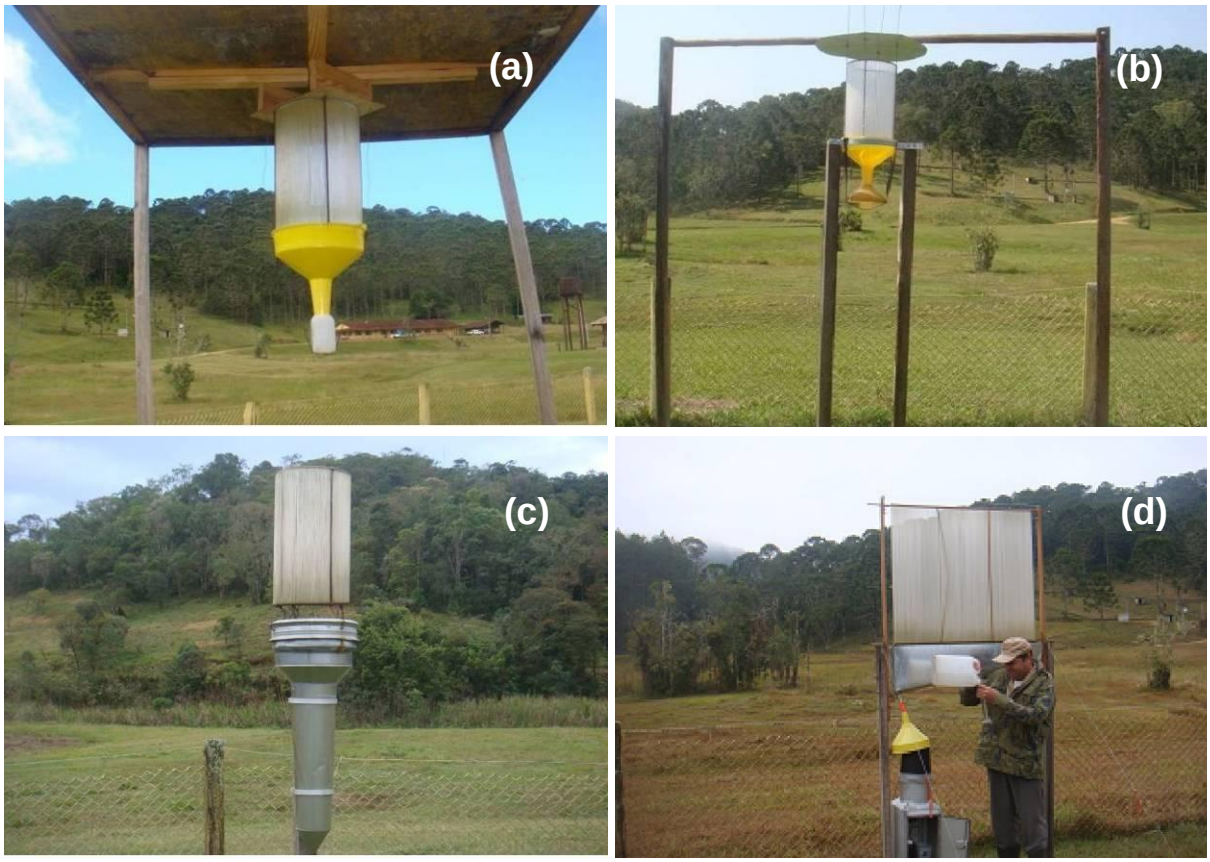


Figura 29. (a) coletor coberto com compensado; (b) coletor com cobertura cônica; (c) coletor descoberto; (d) coletor plano. (Fotos: Francisco C. S. Arcova, 14/12/2010).

4.4.3 Potencial de coleta de água de nevoeiros em três setores da microbacia "D"

Foram instalados coletores de água de nevoeiro no exutório (S1) e em duas clareiras de aproximadamente 20 metros de diâmetro no interior da microbacia "D"; S2 (setor mediano) e S3 (cabeceiras), cujas altitudes são 1063 m, 1110 m e 1151 m, respectivamente (Figura 15, indicado pelos quadrados amarelos). Num primeiro momento, entre outubro de 2009 e setembro de 2010, foram realizadas coletas de água de nevoeiro por meio de coletores cilíndricos cobertos com placa de compensado (Figura 30). Em abril de 2011, foram instalados coletores planos nestes locais (Figura 31). As coletas foram efetuadas até setembro de 2012.

Figura 30. Coletores cilíndricos de água de nevoeiro cobertos com placa de compensado, instalados na microbacia “D”: (a) setor 1; (b) setor 2; (c) setor 3. (Fotos: Francisco C. S. Arcova, 13/04/2010).

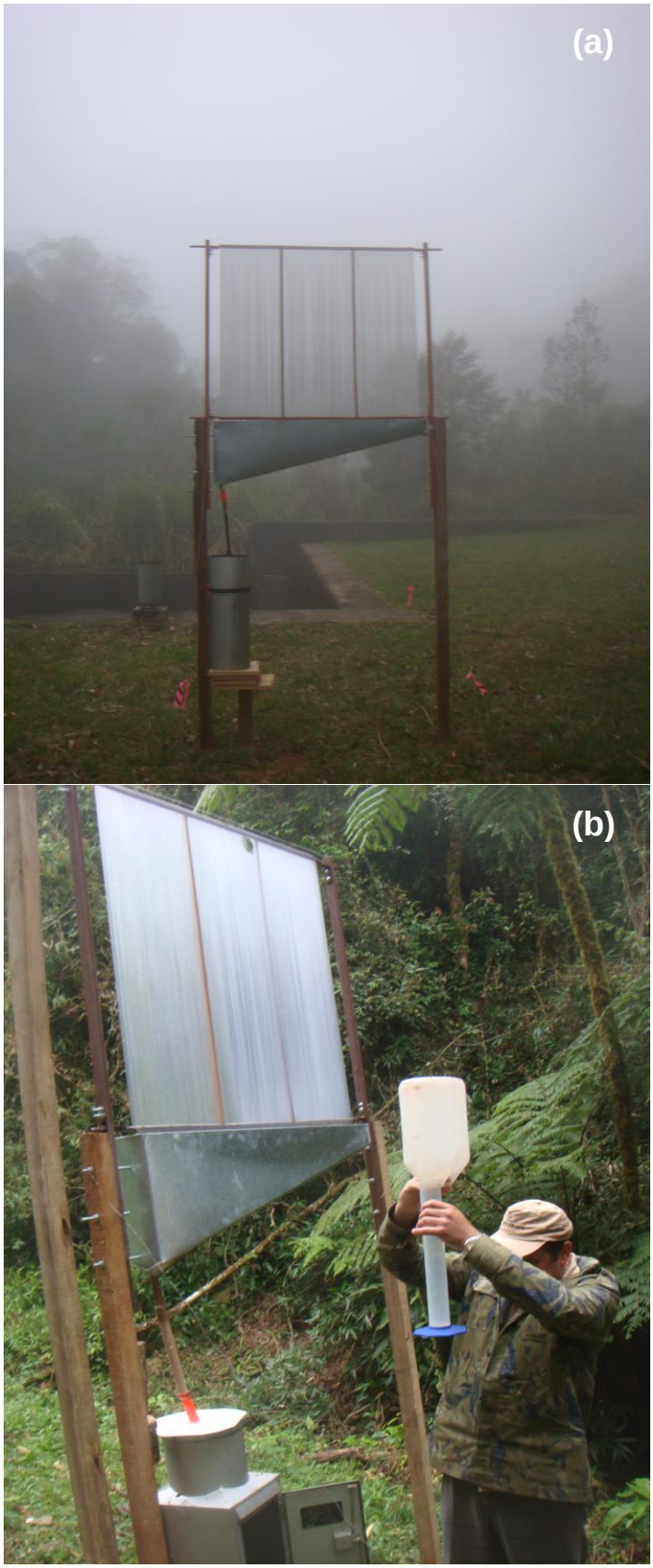


Figura 31. Coletores planos instalados na microbacia “D”: (a) setor 1; (b) setor 3. (Fotos: Francisco C. S. Arcova, 20/01/2011 e 22/06/2011, respectivamente).

4.4.4 Estimativa da precipitação oculta na floresta

Para estimativa da precipitação oculta na microbacia “D” foram consideradas duas situações distintas: quando ocorreu nevoeiro mas não houve chuva e quando houve nevoeiro e também chuva.

Para quando houve nevoeiro mas não houve chuva, a precipitação oculta foi obtida pela simples somatória da transprecipitação e o escoamento pelo tronco.

Na situação em que houve nevoeiro e também chuva, foram consideradas duas possibilidades: 1) quando a precipitação efetiva superou a precipitação pluviométrica e, 2) para todos os dados, indistintamente. No primeiro caso a precipitação oculta foi estimada pelo módulo da diferença das duas precipitações, conforme a equação 6. No segundo caso, foi utilizado o procedimento descrito por McJannet e Wallace (2006), considerando apenas as situações em que a precipitação pluviométrica superou a capacidade de armazenamento da copa das árvores. Para a determinação da ocorrência ou não de nevoeiro nos eventos de chuva, que é necessária para aplicação deste procedimento, foram utilizadas as informações de coleta de água do coletor coberto com compensado instalado na estação meteorológica, como proposto por McJannet e Wallace (2006). Considerou-se que sempre que houve água armazenada na garrafa do coletor ela originou-se, exclusivamente, de nevoeiro. Não havendo água, ficou caracterizado que houve apenas chuva. Porém, como foi observado em campo que em algumas situações, houve nevoeiro, mas não houve coleta de água, optou-se por usar também as informações de visibilidade da microbacia, considerando ter ocorrido nevoeiro quando os códigos de visibilidade indicaram a presença de nevoeiro na parcela de precipitação efetiva, isto é, códigos 1 e 2. Ainda, para os eventos ocorridos no fim de semana ou feriados, quando os técnicos de campo não estavam no laboratório e não houve captação de água pelo coletor de nevoeiro, foram usadas observações visuais realizadas pelos vigias da unidade de conservação. Essas foram efetuadas a 200 metros do exutório da microbacia “D”, nos períodos da manhã e tarde.

As coletas foram iniciadas em 07 de outubro de 2009 e encerradas em 27 de setembro de 2010.

A água evaporada do dossel foi desconsiderada nos cálculos, sendo estimada a precipitação oculta líquida que, no presente trabalho, para efeito de simplificação

da terminologia, é denominada precipitação oculta.

4.5 Rotina de observações de visibilidade e de coleta de dados

As observações de visibilidade foram feitas nos dias úteis da semana, nos períodos da manhã (8 h 00 min às 12 h 00 min) e da tarde (13 h 00 min às 17 h 00 min). Num primeiro momento, elas foram realizadas em horários não definidos. A partir de outubro de 2011 elas passaram a ser praticadas em horários definidos: 8 h 00 min, 10 h 00 min, 12 h 00 min, 14 h 00 min e 16 h 00 min.

As coletas de água de nevoeiro, assim como as de transprecipitação, de escoamento pelo tronco e de precipitação pluviométrica, foram realizadas de segunda a sexta-feira, entre 8 h 00 min e 9 h 30 min. A maior parte dos dados é constituída de eventos diários. Os volumes de água coletados nos fins de semana foram medidos na segunda-feira seguinte. Nas ocasiões em que as chuvas prolongam-se por mais de um dia, as coletas foram efetuadas na manhã seguinte ao fim das mesmas.

O rodízio dos pluviômetros no interior da parcela de precipitação efetiva foi feito às segundas-feiras, após a medição dos volumes de água coletados, mediante sorteio aleatório de vinte e cinco das cinqüenta posições possíveis de medição da transprecipitação.

4.6 Análises estatísticas

Para avaliar os coletores de água de nevoeiros instalados na estação meteorológica, utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado, com um fator (coletor) e com quatro níveis (coletor plano, coletor cilíndrico coberto com compensado, coletor cilíndrico com cobertura cônica e coletor cilíndrico descoberto). Foram 174 repetições de cada coletor.

A fim de avaliar as coletas de água de nevoeiro nos três setores da microbacia “D”, utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado,

com um fator (setor) e com três níveis (1, 2 e 3). Foram obtidas 98 repetições em cada setor.

Para os dois experimentos, foram feitos testes estatísticos (Bartlett e Shapiro-Wilk) para verificar se os dados atendiam aos pressupostos da análise da variância: aleatoriedade e independência das amostras, distribuição normal dos erros e homogeneidade da variância. Os dados não atenderam aos pressupostos (Apêndice A) e, inicialmente, tentou-se com a transformação dos dados de coleta de água, mas não foi suficiente para atender todos os pré-requisitos (Apêndice B). Sendo assim, optou-se por uma análise não paramétrica.

Para os coletores da estação meteorológica, foi aplicada uma análise estatística de R-ANOVA (ranking anova) para verificar se aos menos um coletor diferia do outro significativamente (5% de significância). Posteriormente, foi aplicado teste de comparações múltiplas de Tukey (5% de significância), para averiguar as diferenças significativas entre as médias dos quatro coletores.

Da mesma forma, aplicou-se R-ANOVA (5% de significância) para avaliar se houve diferença nos volumes de água de nevoeiro coletados entre os setores e teste de comparações múltiplas de Tukey (5% significância) para verificar as diferenças entre as médias dos três setores da microbacia “D”.

Para todas as análises utilizou-se o software SAS, versão 9 do SAS System for Windows (SAS / STAT, 2010).

Para verificar a viabilidade de aplicação do método descrito por McJannet e Wallace (2006), com o propósito de estimar a precipitação oculta da floresta na microbacia “D”, foram estabelecidas equações lineares relacionando a precipitação pluviométrica (y) e a precipitação efetiva (x) em duas situações: para eventos de chuva com nevoeiro; e para eventos de chuva sem nevoeiro. Para verificar se os pressupostos para uso da regressão linear foram atendidos - a normalidade da variável y e a homocedasticidade (a variação de x deve ser a mesma para cada valor de y), as equações obtidas foram submetidas à análise de resíduos.

Os resultados indicaram a necessidade de transformação dos dados (Apêndice C), sendo feita a transformação logarítmica dos (dados +1). Constatada a adequação da transformação realizada, as equações foram submetidas ao teste de comparação de regressões do pacote estatístico BioEstat 5.0, desenvolvido por Ayres et al. (2007), ao nível de 5% de significância.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Condições dos ventos

As primeiras informações apresentadas na presente pesquisa referem-se à velocidade e a direção dos ventos no L.H.F.W.E., uma vez que o fluxo dos nevoeiros na microbacia “D”, o desempenho dos coletores e a interceptação da água pelo dossel florestal são fortemente influenciados por ambas.

Usando todos os dados disponíveis registrados pelo anemógrafo durante o experimento, obteve-se reduzida velocidade média do vento no período de outubro de 2009 a setembro de 2010, outubro de 2010 a setembro de 2011 e outubro de 2011 a setembro de 2012, isto é, 1,3 $m.s^{-1}$, 1,3 $m.s^{-1}$ e 1,2 $m.s^{-1}$, respectivamente. Esses valores são inferiores à média de 2,0 $m.s^{-1}$ determinada entre 1980 e 1988 e, ligeiramente superiores às menores marcas registradas naquele período, que foram de 1,1 $m.s^{-1}$ em 1984 e 1,0 $m.s^{-1}$ em 1988 (VENEZIANI, 2011).

Os histogramas de velocidade dos ventos, organizados de acordo com as Classes de Beaufort para as diferentes estações do ano, são mostrados nas Figuras 32 e 33. Para aproximadamente 65% do tempo, as velocidades estiveram entre 0 e 1,5 $m.s^{-1}$, tipificadas como calmaria e vibração. Para 32% estiveram entre 1,6 e 3,3 $m.s^{-1}$, descrita como brisa leve. Raramente (3%) ultrapassaram a faixa de 3,3 $m.s^{-1}$ (brisa fraca). Excepcionalmente (0,1%), alcançaram marcas superiores a 5,5 $m.s^{-1}$, sendo denominada brisa moderada.

Assim, durante esse estudo, a participação dos ventos brandos no universo total de dados de velocidade foi superior à determinada por Veneziani (2011), que registrou em torno de 55% do total de dias com ventos de até 2,0 $m.s^{-1}$. Entre 2009 e 2012, as máximas velocidades estiveram entre 6,0 e 6,6 $m.s^{-1}$, registradas apenas quatro vezes. Elas são da mesma ordem de grandeza das obtidas no período de 1980 a 1988, que não excederam 7,0 $m.s^{-1}$.

Não houve uma clara diferença na velocidade dos ventos entre as épocas do ano, embora no outono (principalmente) e no inverno, a frequência de ventos de até 1,5 $m.s^{-1}$ tenha sido ligeiramente superior às das demais estações. Os percentuais para as classes acima de 3,3 $m.s^{-1}$ foi pouco maior na primavera e menor durante o

outono. Portanto, não houve concordância dos resultados obtidos no presente estudo com os alcançados por Veneziani (2011), uma vez que entre 1980 e 1988 as velocidades médias mais intensas foram percebidas no verão e no outono, e as mais amenas no inverno e início da primavera.

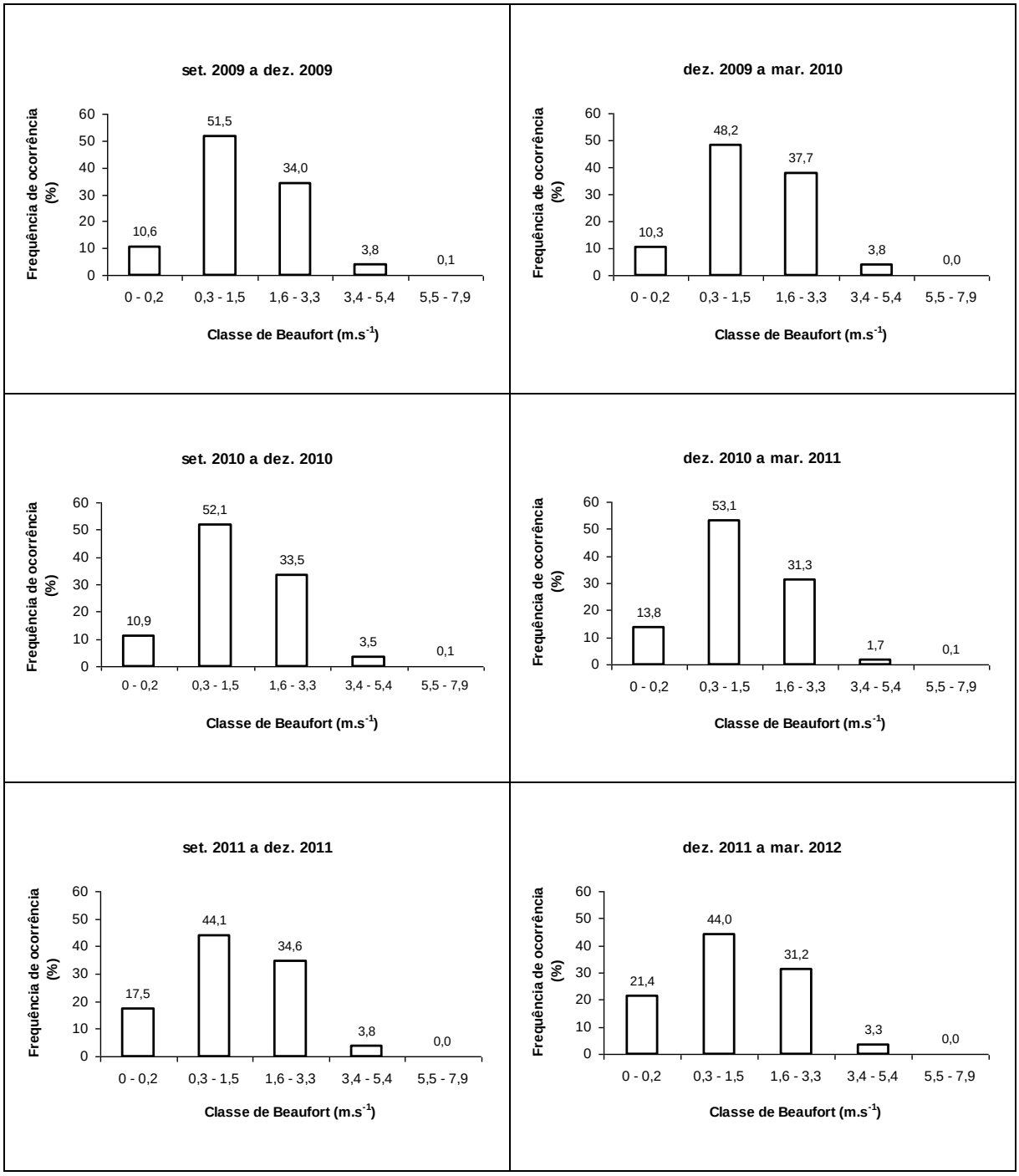


Figura 32. Distribuição da frequência de ocorrência da velocidade dos ventos no L.H.F.W.E., segundo as classes da Escala de Beaufort, usando todos os dados disponíveis durante a pesquisa, agrupados nas estações do ano: primavera e verão.

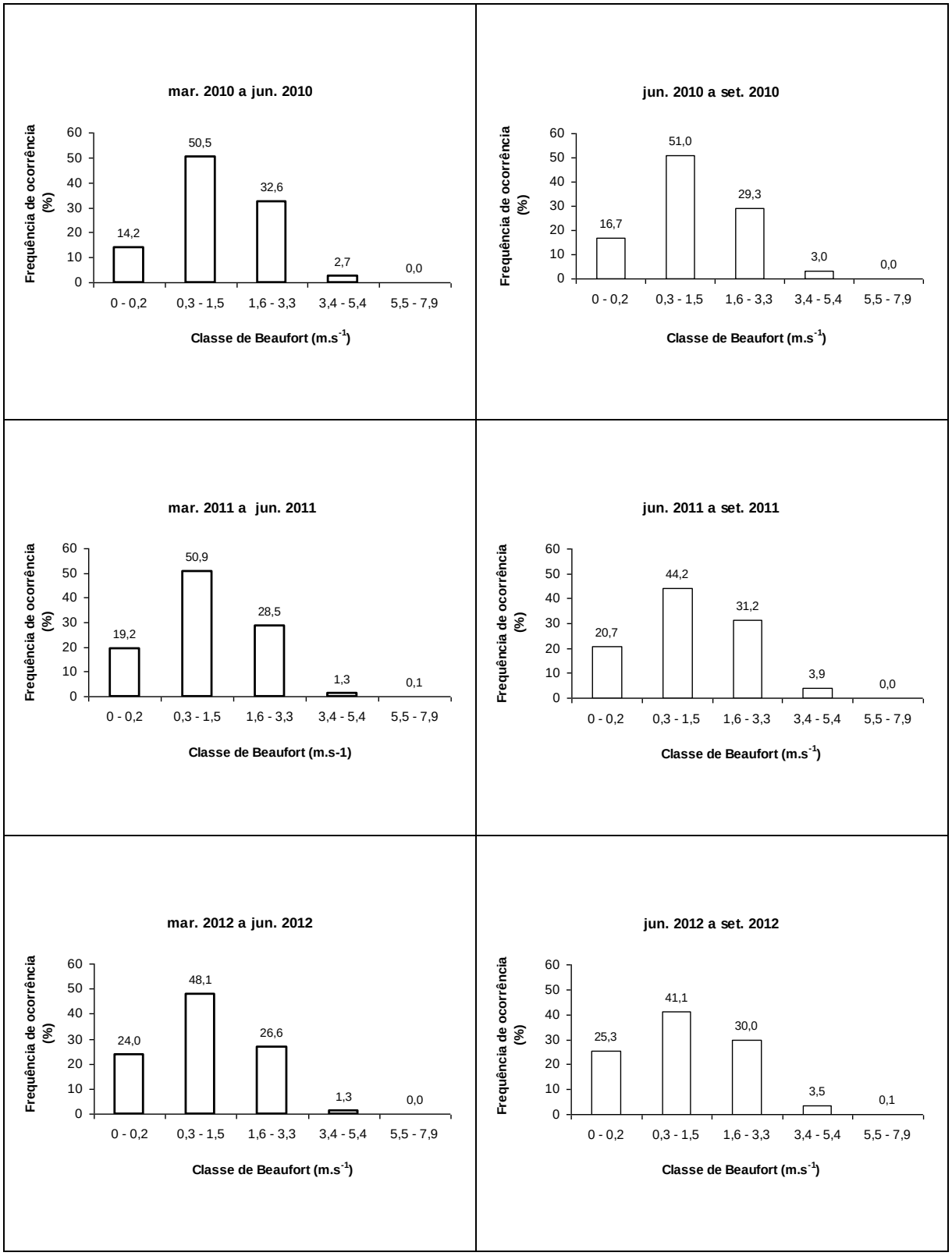


Figura 33. Distribuição da frequência de ocorrência da velocidade dos ventos no L.H.F.W.E., segundo as classes da Escala de Beaufort, usando todos os dados disponíveis durante a pesquisa, agrupados nas estações do ano: outono e inverno.

Com todos os dados coletados no experimento, realizou-se a estatística das direções por intermédio das rosas dos ventos, organizadas em conformidade com as estações do ano (Figuras 34 e 35).

Prevaleceram as direções do setor N-E(0º a 90°), com 47,4% do tempo, assim distribuído: N(13,8%), NNE(9,6%), NE(7,8%), ENE(9,9%) e E(6,4%). Portanto, foram diferentes das observadas no período de 1980 a 1988, quando os ventos incidiram principalmente no setor W-N. As direções NNW(5,4%) e S(5,3%) se destacaram das restantes. Em comum com os resultados obtidos por Veneziani (2011), é o fato de predominarem fluxos de ventos dos quadrantes continentais e não dos oceânicos. Os últimos totalizaram 28,8%, se for considerado o setor E-SW (90° a 225°). Na primavera esse percentual aumentou para 35,6 % devido ao incremento de vento das direções SSE, S, SSW e SW.

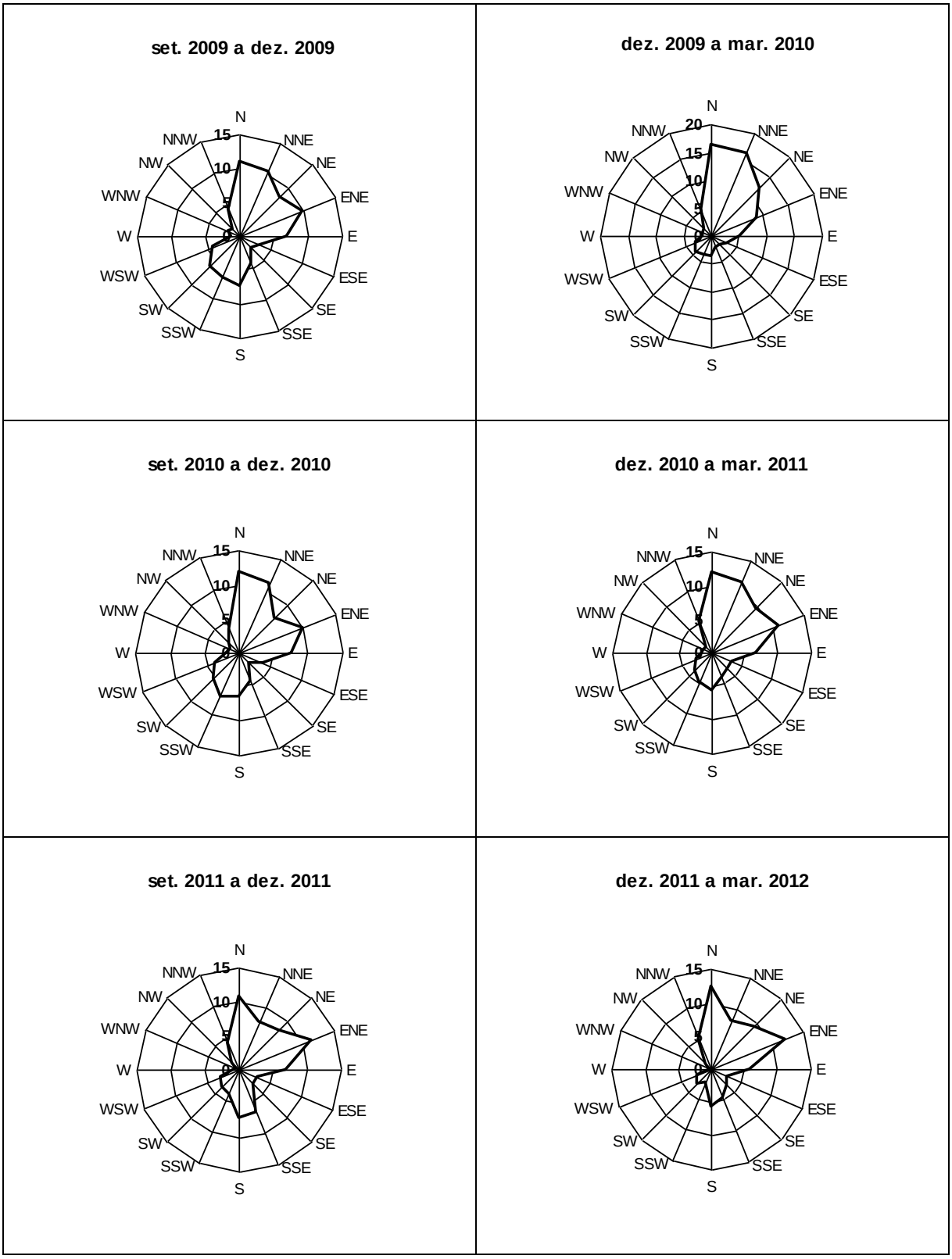


Figura 34. Rosa dos ventos no L.H.F.W.E., obtida a partir de todos os dados disponíveis durante a pesquisa, agrupados nas estações do ano: primavera e verão.

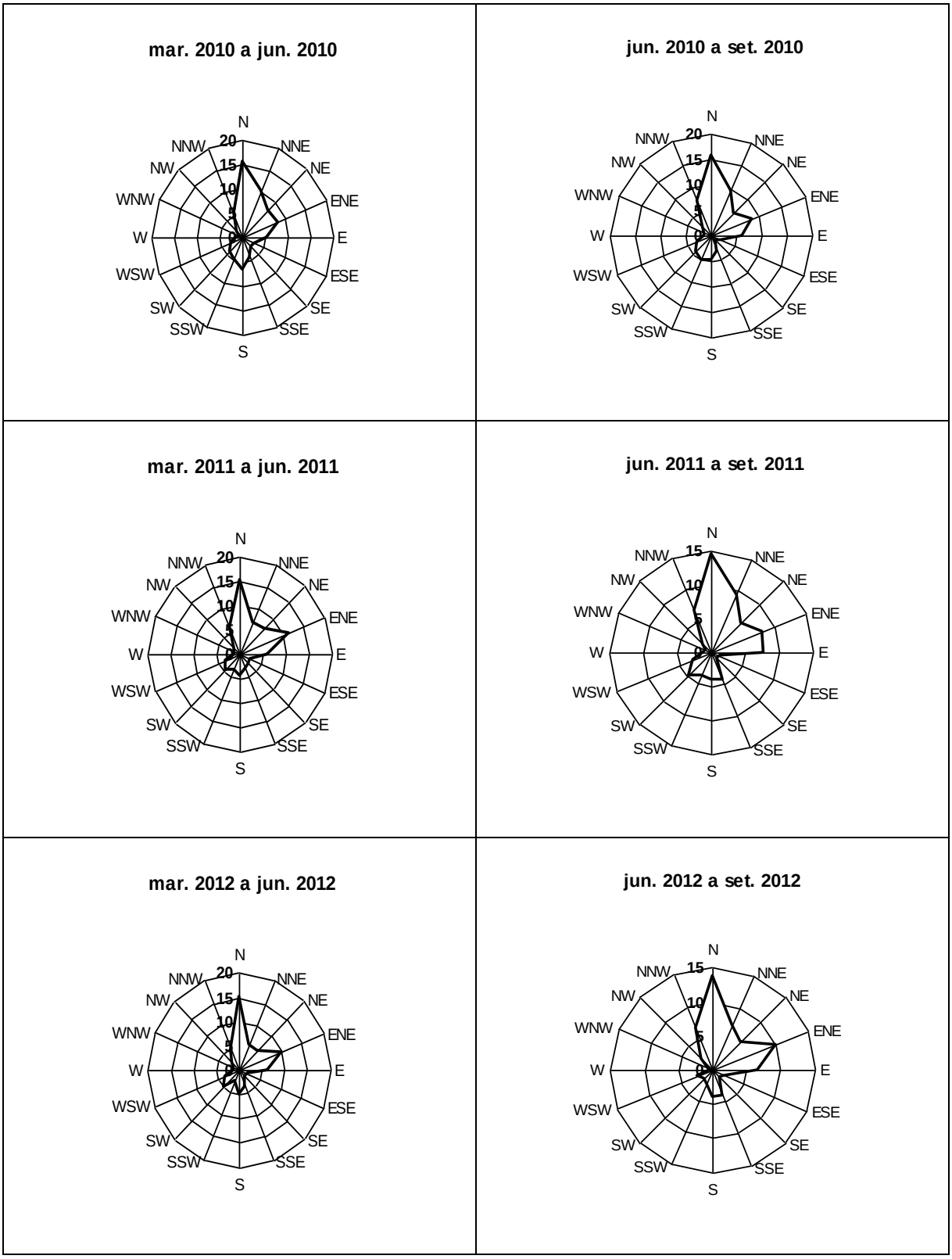


Figura 35. Rosa dos ventos no L.H.F.W.E., obtida a partir de todos os dados disponíveis durante a pesquisa, agrupados nas estações do ano: outono e inverno.

As rosas dos ventos e os gráficos de frequência de velocidade, elaborados a partir de todos os dados disponíveis coletados na estação meteorológica, geraram informações genéricas importantes sobre esse atributo climático em Cunha. Porém, como os dados foram obtidos tanto para condições da presença de nevoeiros, como na ausência desses, indistintamente, os conhecimentos com eles alcançados podem não mostrar relações existentes entre o vento e os nevoeiros que ocorrem no local. Assim, optou-se por gerar, também, elementos sobre a direção e a velocidade dos ventos em dias com ocorrência de nevoeiro. Para tanto, foram selecionados dias em que houve coleta de água no coletor coberto com compensado e que havia dados de vento disponíveis.

Como os nevoeiros orográficos em Cunha ocorrem, majoritariamente, no período da tarde (como será apresentado adiante), os dados utilizados para confeccionar as rosas dos ventos e os histogramas de velocidade foram obtidos entre as 12 e às 20 horas, quando a brisa marítima sopra em direção ao continente (ATKINSON, 1981). Os resultados são apresentados nas Figuras 36 e 37. Eles são fortes indícios das direções dos ventos mais freqüentes quando houve coleta de água de nevoeiro.

Ao contrário do que foi verificado quando foram usados os dados gerais, nas tardes/início das noites dos dias com coleta de água de nevoeiro, predominaram ventos oriundos das direções do setor oceânico, isto é, E-SW (90° a 225°), correspondendo, em média, a 57,4% do tempo, assim distribuídos: S(11,4%), E(11,0%), SW(9,3%), SSW(9%), SSE(7,2%), ESE(4,8%) e SE(4,7%).

A primavera foi a estação do ano com maior ocorrência dos ventos oceânicos, com 68,9% em média. No verão, a contribuição foi de 57,4% e no outono de 52,2%. O inverno foi a época do ano com menor percentual: 49,9%.

Em resumo, esses resultados são indicativos de que quando houve coleta de água de nevoeiro no coletor coberto com compensado os ventos foram, predominantemente, provenientes do oceano, sendo a maior contribuição destes na primavera.

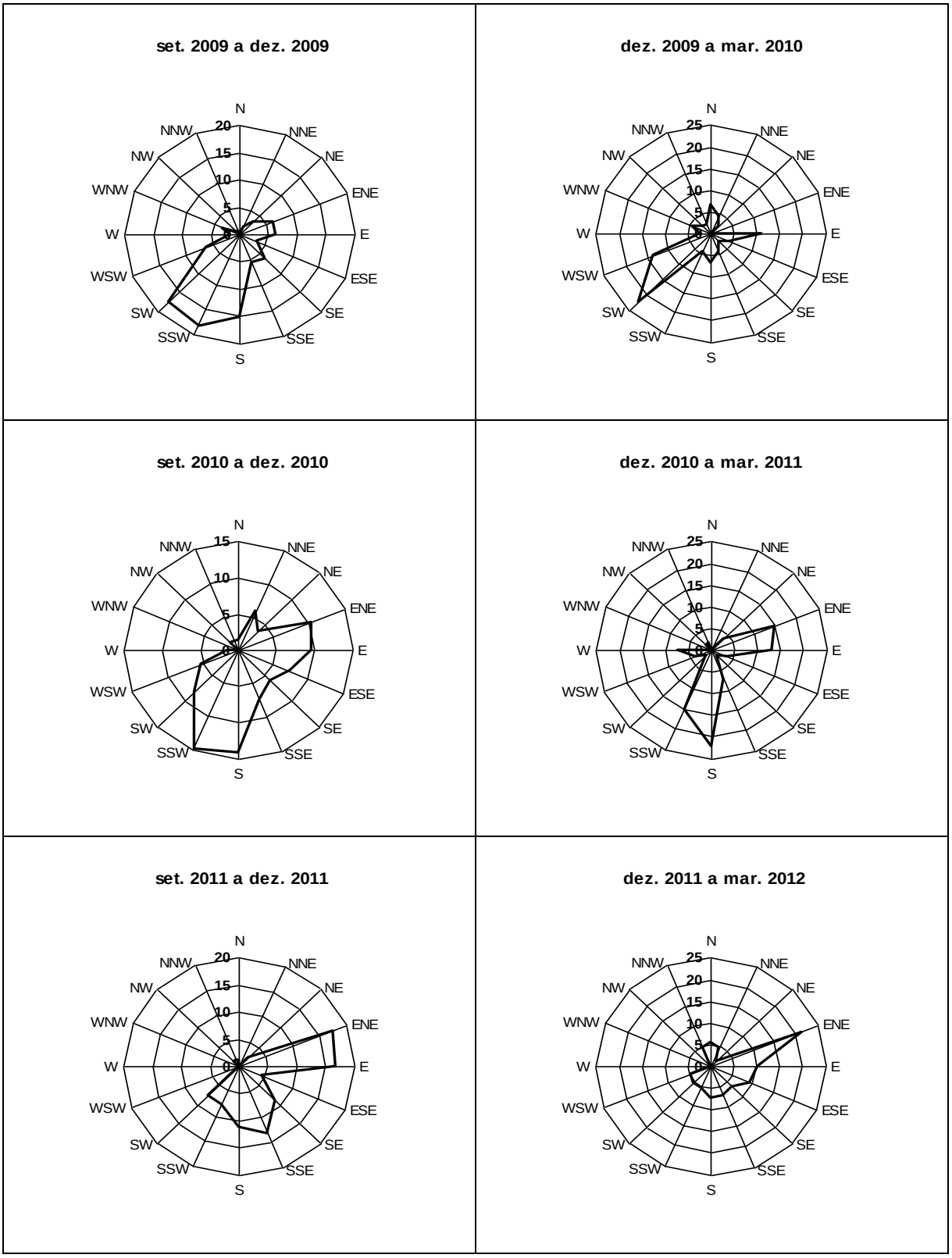


Figura 36. Rosa dos ventos no L.H.F.W.E., para dias com coleta de água no coletor coberto com compensado, agrupados nas estações do ano: primavera e verão.

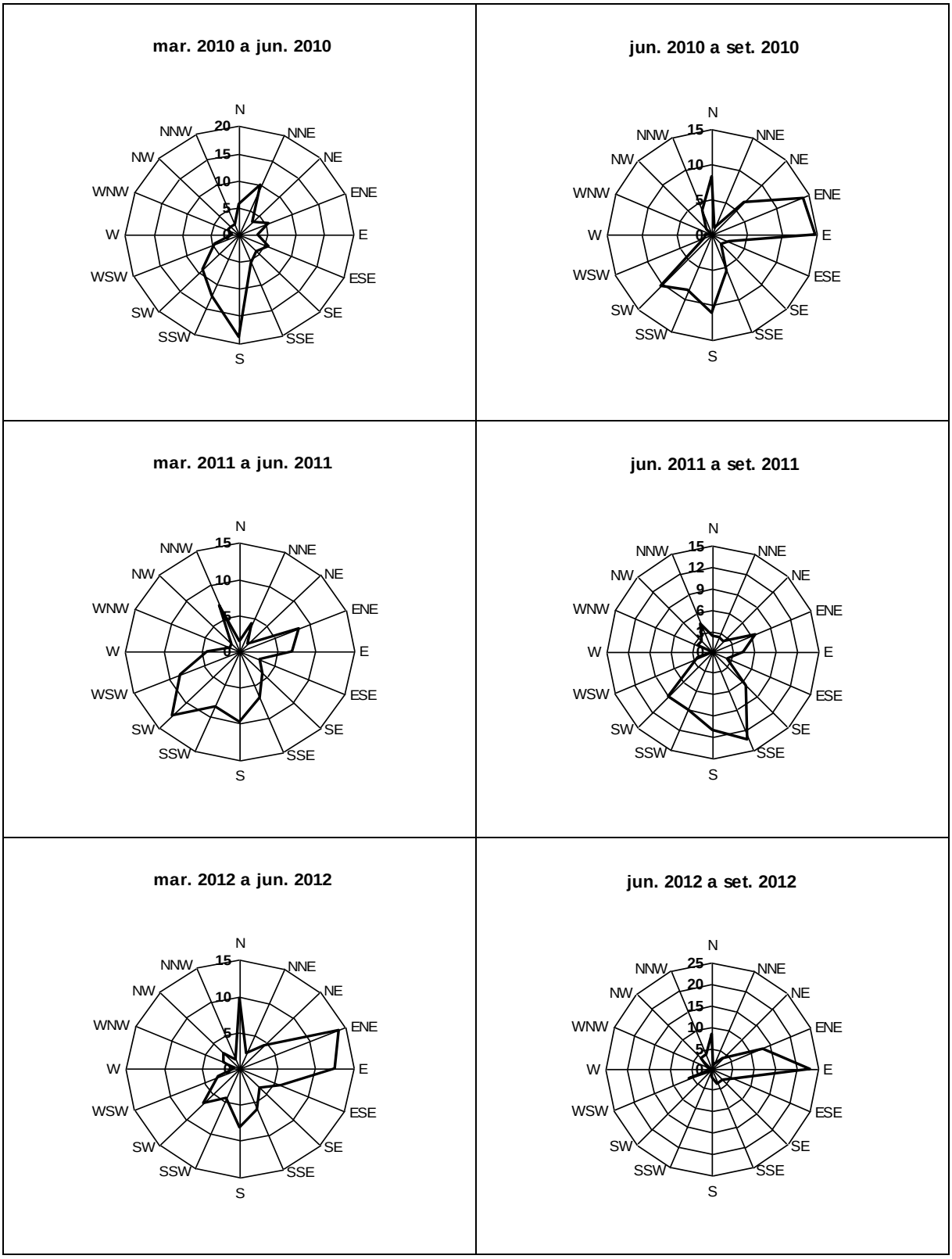


Figura 37. Rosa dos ventos no L.H.F.W.E., para dias com coleta de água no coletor coberto com compensado, agrupados nas estações do ano: outono e inverno.

As reduzidas velocidades do vento que prevaleceram durante todo o experimento, foram verificadas também nos dias com coleta de água de nevoeiro no coletor cilíndrico coberto, com média de apenas 1,4 $m.s^{-1}$. Os histogramas de velocidade dos ventos para as diferentes estações do ano (Figuras 38 e 39) mostram que, em média, para 58% do tempo as velocidades estiveram entre 0 e 1,5 $m.s^{-1}$ (calmaria e vibração), para 40,3% estiveram entre 1,6 e 3,3 $m.s^{-1}$ (brisa leve), raramente (1,7%) ultrapassaram a faixa de 3,3 $m.s^{-1}$ (brisa fraca) e não houve valores superiores a 5,5 $m.s^{-1}$ (brisa moderada). As máximas velocidades estiveram entre 4,2 e 4,5 $m.s^{-1}$, registradas apenas três vezes.

Não houve uma clara diferença na velocidade dos ventos entre as épocas do ano, embora no inverno a freqüência de ventos de até 1,5 $m.s^{-1}$ tenha sido ligeiramente superior às das demais estações.

A predominância dos ventos brandos no laboratório, observada na série histórica de 1980 a 1988 e, também, durante o desenvolvimento desse experimento, não era esperada, pois a região é considerada de ventilação intensa e fluxos de ventos constantes (VENEZIANI, 2011). Esse fato pode estar relacionado ao relevo movimentado da região de Cunha, que funciona como barreira à circulação atmosférica normal, similarmente ao que ocorre nos setores mais interiorizados da Cidade do Rio de Janeiro, como explicado por Martins et al. (2004). Esta possibilidade é corroborada por Veneziani (2011), que diagnostica que elementos de origem regional e local, relacionados ao complexo geomorfológico da Serra do Mar e ao recobrimento vegetal encontrado em Cunha, podem intervir, significativamente, através da fricção sobre ventos oriundos do oceano, seja pela canalização dos escoamentos, controlados por vales estreitos e orientados, seja na indução de processos advectivos locais, entre outras interferências sobre os atributos e fluxos atmosféricos.

Em comparação com vários locais onde foram realizados estudos sobre a contribuição hidrológica dos nevoeiros (Tabela 9), o L.H.F.W.E apresenta menor velocidade do vento, alinhando-se apenas a velocidade observada em Veracruz, no México, e suplantando o valor registrado no sudoeste da China.

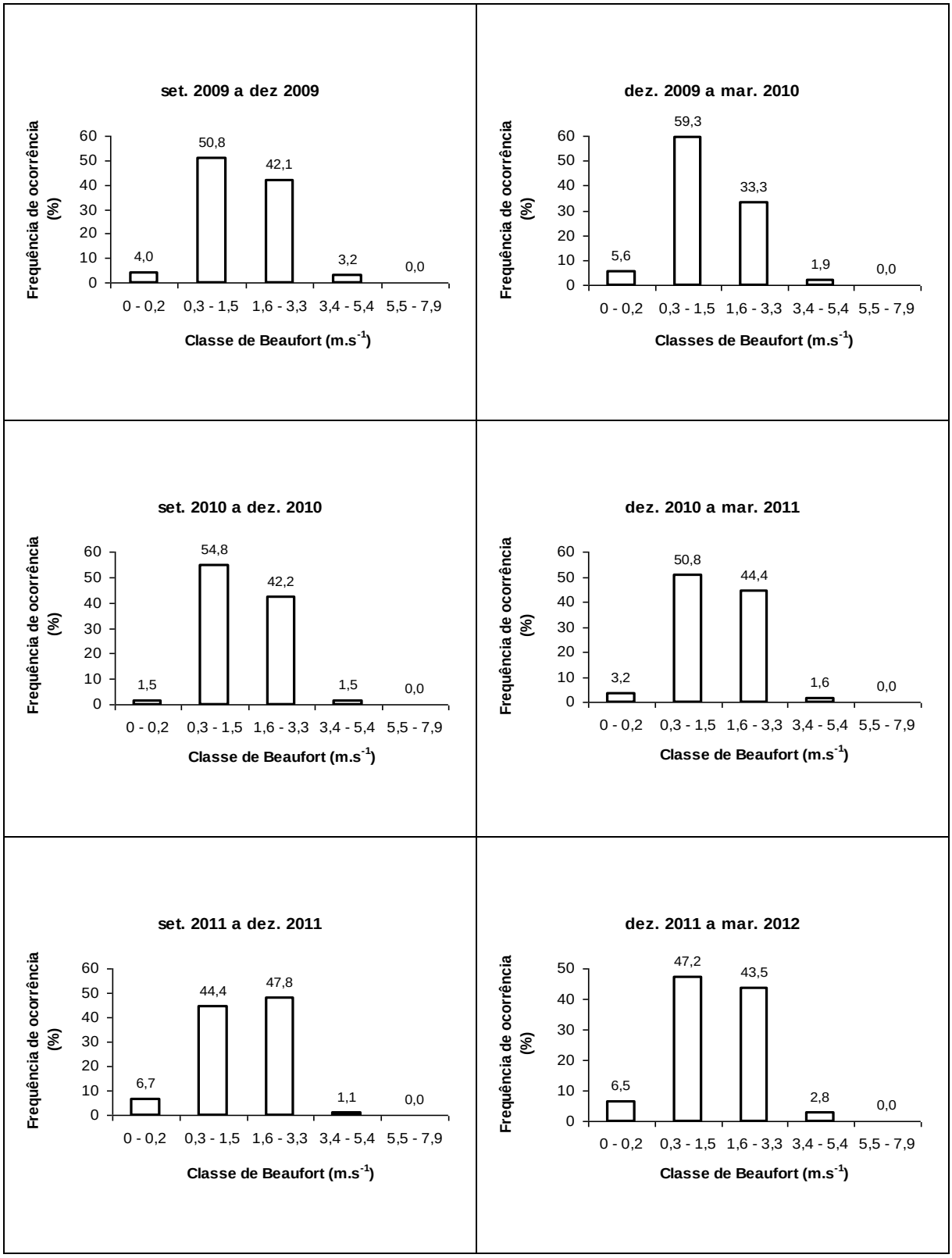


Figura 38. Distribuição da frequência de ocorrência da velocidade dos ventos no L.H.F.W.E., segundo as classes da Escala de Beaufort, para dias com coleta de água no coletor coberto com compensado, agrupados nas estações do ano: primavera e verão.

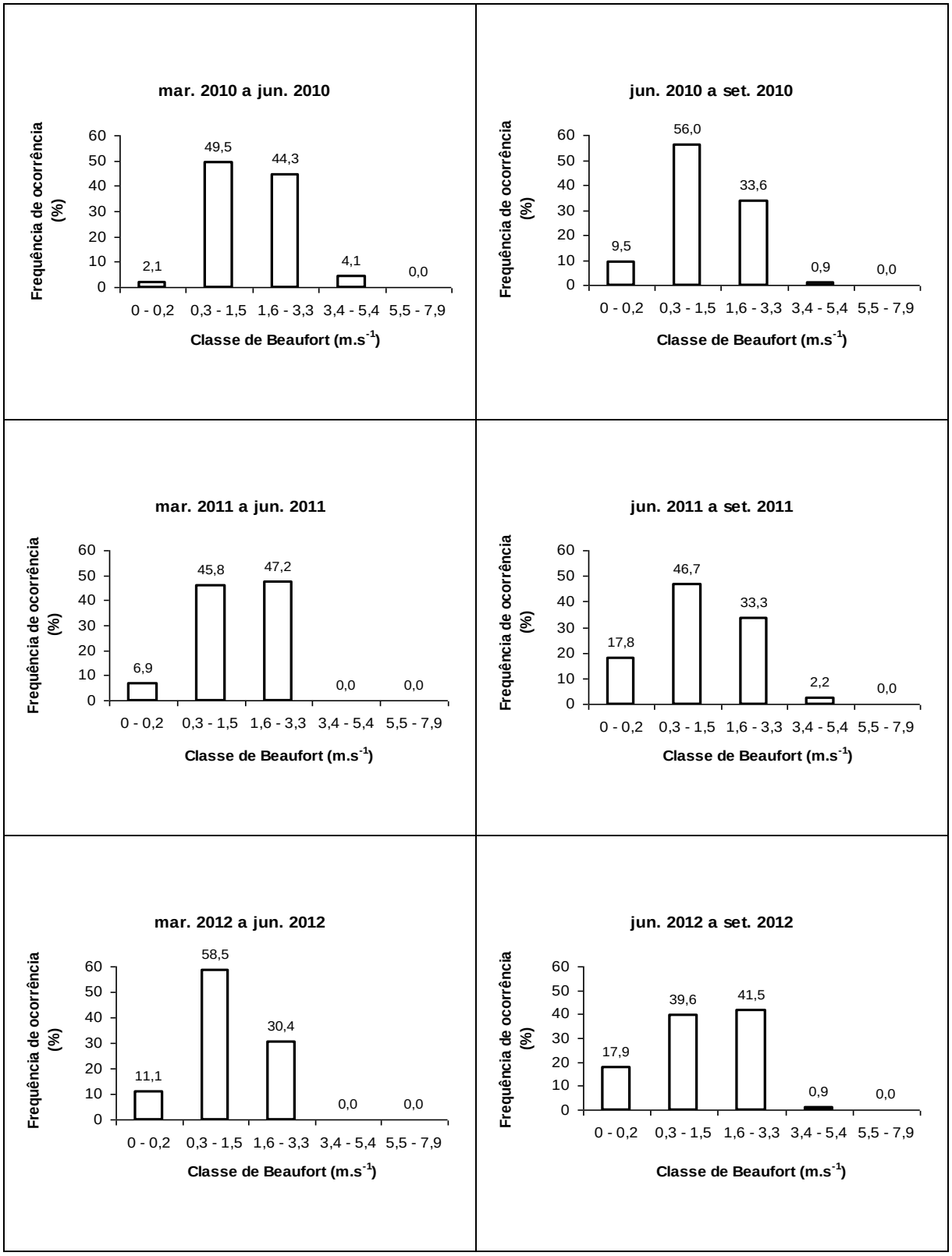


Figura 39. Distribuição da frequência de ocorrência da velocidade dos ventos no L.H.F.W.E., segundo as classes da Escala de Beaufort, para dias com coleta de água no coletor coberto com compensado, agrupados nas estações do ano: outono e inverno.

Tabela 9 – Velocidade do vento em locais onde foram realizados estudos sobre a contribuição hidrológica dos nevoeiros.

Local	Velocidade do vento ($m.s^{-1}$)	Observação	Autor
Bica da Cana Ilha da Madeira	5,5	Média anual	Prada e Silva (2001)
Chão das Feiteiras Ilha da Madeira	5,5 – 6,2	Média anual	
Brand se Baai África do Sul	4,3	Média mar. a maio 1997	Olivier (2002)
Kalkbaken se Kop África do Sul	5,2	Média mar. a maio 1997	
Erjos Ilhas Canárias	2,5	Média durante eventos de nevoeiro	Marzol (2002)
San Francisco Equador (1800 m a.n.m.)	2,5	-	Bendix, Fabian e Rollenbeck (2004)
San Francisco Equador (3185 m a.n.m.)	16,0	-	
Luquillo Mountains Porto Rico	4,8	Média para eventos de nevoeiro sem chuva 25 jun. a ago. 2002	Holwerda et al. (2006)
	6,3	Média para eventos de nevoeiro com chuva 25 jun. a ago. 2002	
Mt. Monduver e Mt.Peñaroya Espanha	13,8	Ventos regulares jan. a dez. 2004	Estrela et al. (2008)
Xishuanbanna China	0,7	Média anual	Liu et al. (2008)
Al-Sooda Arabia Saudita	7,2 – 14,4	Amplitude das velocidades médias mensais 2005	Al-Hassan (2009)
Luquillo Mountains Porto Rico	4,0 – 5,0	Média mensal	Holwerda, Bruijnzeel e Scatena (2010)
Veracruz Mexico	1,4	Média set. 2006 a ago. 2008	Holwerda et al. (2010b)

5.2 Distribuição espacial e temporal da ocorrência de nevoeiros na microbacia "D"

As informações referentes à ocorrência espacial e temporal dos nevoeiros na microbacia "D", originadas a partir das observações de visibilidade, são apresentadas e discutidas a seguir.

Nos períodos de outubro de 2009 a setembro de 2010, outubro de 2010 a setembro de 2011 e outubro de 2011 a setembro de 2012 foram averiguados 234 dias (64% do ano), 232 dias (63% do ano) e 230 dias (63% do ano), respectivamente. Houve incidência de nevoeiro em algum setor da microbacia em 129 dias (55% dos dias observados) do primeiro período, em 152 dias (66% dos dias observados) do segundo e em 146 dias (63% dos dias observados) do terceiro ano. Esses números, que são subestimados, uma vez que foram obtidos apenas de observações feitas exclusivamente em horários da manhã e da tarde dos dias úteis, são expressivos quando comparados aos que ocorrem em outras localidades (Tabela 10). Por exemplo, na região metropolitana de São Paulo há entre 75 e 100 dias com ocorrência de nevoeiro ao ano (GONÇALVES; FERNANDES, 2004; PETTO JR.; CONÇALVES; ROCHA, 2008). No Parque Estadual das Fontes do Ipiranga-PEFI, na Cidade de São Paulo, a incidência deste fenômeno meteorológico é de cerca de um terço dos dias do ano (SANTOS; FUNARI, 2002).

Tabela 10 - Frequência anual de dias com ocorrência de nevoeiro em várias localidades e na microbacia “D”.

Local	Nº de dias com nevoeiro/ano	Autor
Caracas Valley Venezuela	326	Gordon, Herrera e Hutchinson (1994)
W. Sudety Polônia	250-300	Blás et al. (2002)
Costa oeste África do Sul	66 – 148	Olivier (2002)
PEFI Cidade de São Paulo	125*	Santos e Funari (2002)
Namíbia África	60 – 200	Shanyengana et al. (2002)
Raposo Tavares Grande São Paulo	100	Gonçalves e Fernandes (2004)
Ilhas Canárias Espanha	200	Marzol e Santos (2004)
Bica da Cana Ilha da Madeira	235	Prada et al. (2004)
Xishuangbanna China	258	Liu et al. (2008)
Grande São Paulo Brasil	75	Petto Jr., Gonçalves e Rocha. (2008)
Microbacia “D” L.H.F.W.E.	129[1] 152[2] 146[3]	Esse estudo.

* Valor estimado a partir de observações diárias feitas no período de 1933 a 2000; 1 - Outubro de 2009 a setembro de 2010: 234 dias observados; 2 - outubro de 2010 a setembro de 2011: 232 dias observados, 3 - outubro de 2011 a setembro de 2012: 230 dias observados.

As Figuras 40 a 45 mostram os percentuais de ocorrência dos quatro códigos de visibilidade para os 36 meses observados. A Figura 46 sintetiza estes resultados. Os nevoeiros foram mais frequentes à tarde que de manhã. Isto está relacionado ao

fato de que a umidade dos nevoeiros orográficos, que predominam em Cunha, tem como origem a brisa marítima proveniente do Oceano Atlântico, que está somente a 15 km da microbacia “D”. A brisa é mais intensa durante as tardes, quando as temperaturas do ar são maiores no continente. Essa observação é respaldada por informação contida em Atkinson (1981), segundo a qual nos trópicos, em geral, a brisa marítima sopra entre 12 e 20 horas.

Na maior parte das manhãs (66,8% do tempo) não foram avistados nevoeiros na microbacia, prevalecendo o código 4. Dos códigos que indicam a ocorrência do fenômeno meteorológico, o 3 foi o mais comum, mostrando haver incidência de nevoeiro no terço superior da microbacia em 24,7% do tempo observado. Entre 50% e 80% da microbacia esteve sob influência de nebulosidade durante 6,6% do tempo, conforme indicado pelo código 2. Apenas em alguns meses (outubro de 2009, novembro e dezembro de 2010, junho, julho, setembro e outubro de 2011 e março, agosto e setembro de 2012) os nevoeiros apresentaram intensidade suficiente para cobrir de 80% a 100% da área (código 1).

No período vespertino houve mais dias com nevoeiro (57,2% do tempo) do que sem ele (42,8%). Dos códigos que indicam ocorrência de nevoeiro, novamente o 3 predominou, implicando na presença de nevoeiro no terço superior da microbacia em 28,3% do tempo. Episódios de nevoeiro que ocuparam entre 50% e 80% da microbacia (código 2) corresponderam a 17,1% das tardes observadas. A microbacia esteve com 80% a 100% da área coberta por névoa mais densa (código 1) em 11,8% das observações.

Os resultados mostram que a incidência dos nevoeiros na microbacia “D” decresce de montante para jusante. Isto pode ser explicado pelas baixas velocidades do vento que predominam localmente, como discutido no item anterior. Assim, os ventos fracos são incapazes de impulsionar os nevoeiros em grande parte dos eventos, fazendo-os permanecer nos trechos mais próximos das cabeceiras da microbacia, por onde se dá a principal entrada das massas de ar úmidas provenientes do litoral.

Ao agrupar os dados de visibilidade por estação do ano (Figura 47), nota-se que a incidência de nevoeiros na microbacia “D” foi maior na primavera, no período da tarde. Não por acaso, durante as tardes e início das noites, essa foi a estação com maior ocorrência dos ventos oceânicos quando se coletou água de nevoeiro na estação meteorológica, como visto no item anterior.

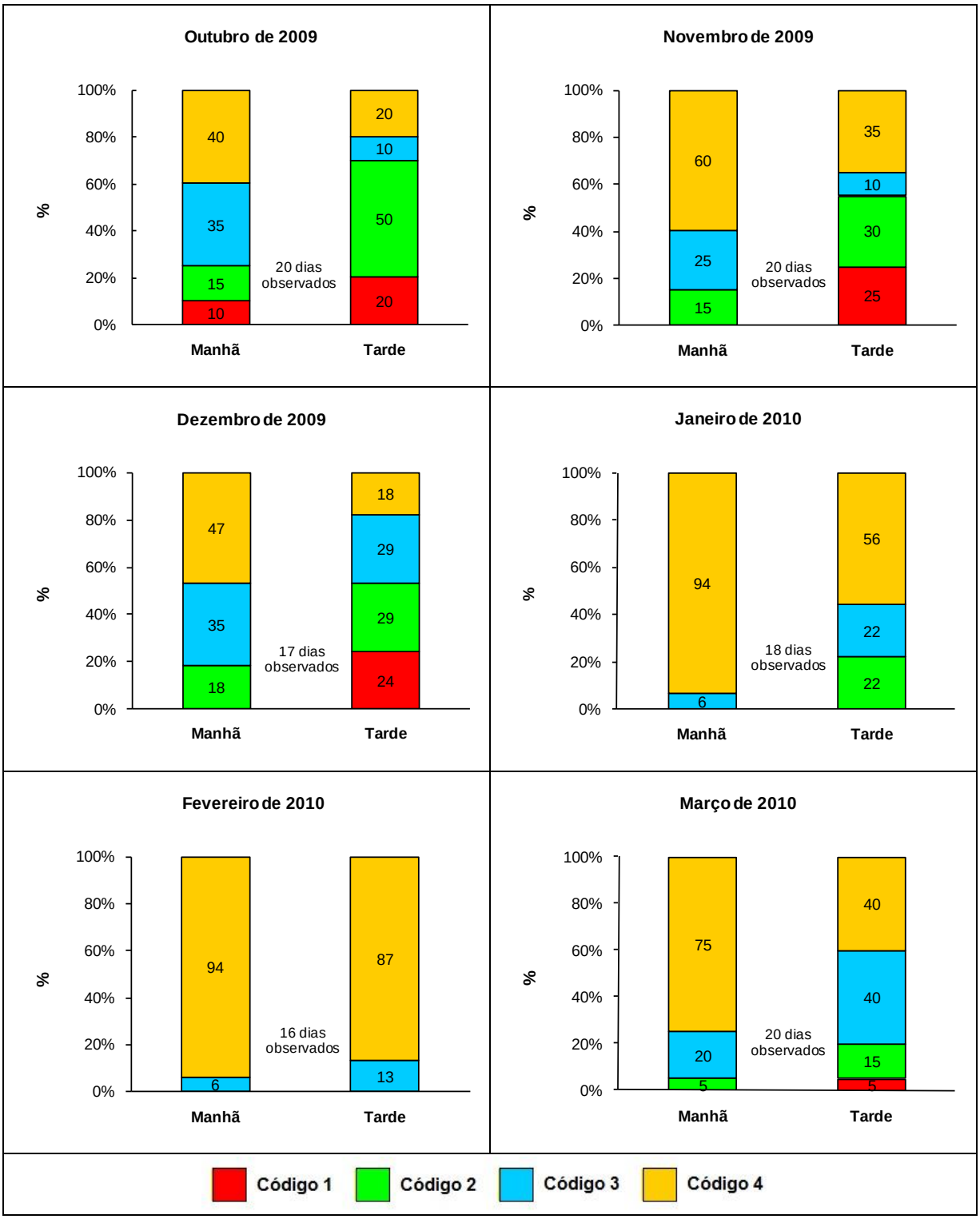


Figura 40. Proporção de dias em que a microbacia “D” esteve sob os quatro códigos de visibilidade nos períodos da manhã e tarde, nos meses de outubro de 2009 a março de 2010.

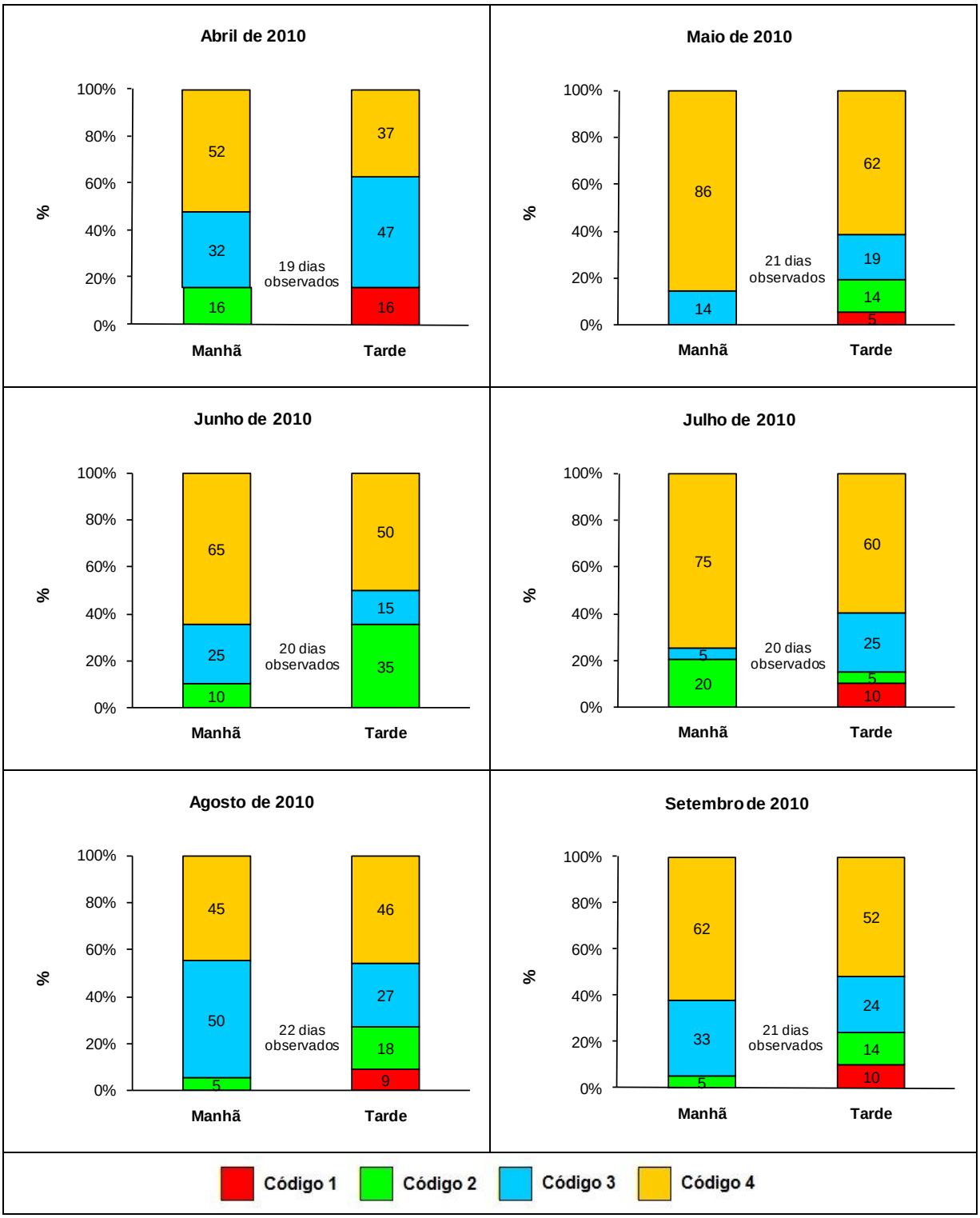


Figura 41. Proporção de dias em que a microbacia “D” esteve sob os quatro códigos de visibilidade nos períodos da manhã e tarde, nos meses de abril a setembro de 2010.

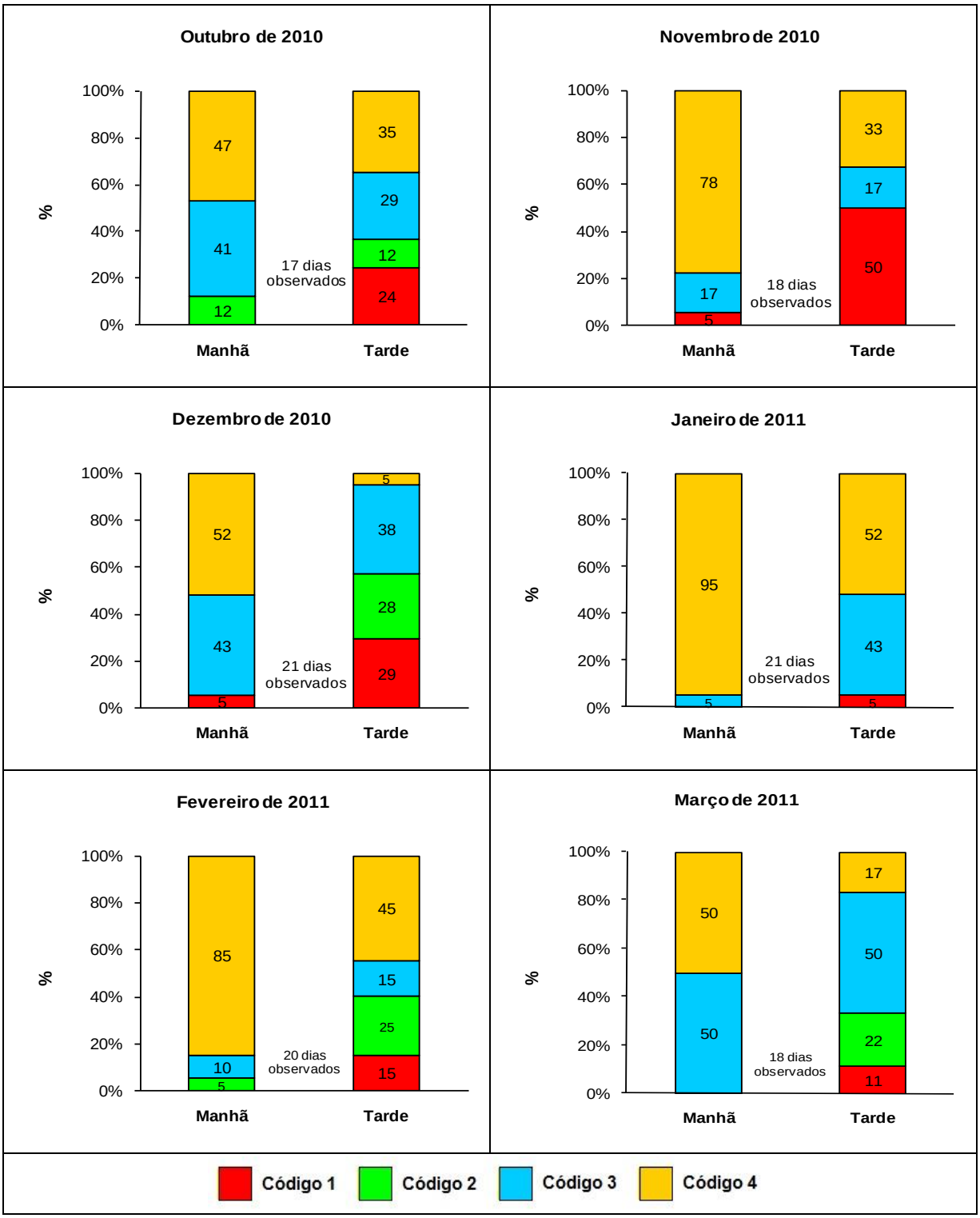


Figura 42. Proporção de dias em que a microbacia “D” esteve sob os quatro códigos de visibilidade nos períodos da manhã e tarde, nos meses de outubro de 2010 a março de 2011.

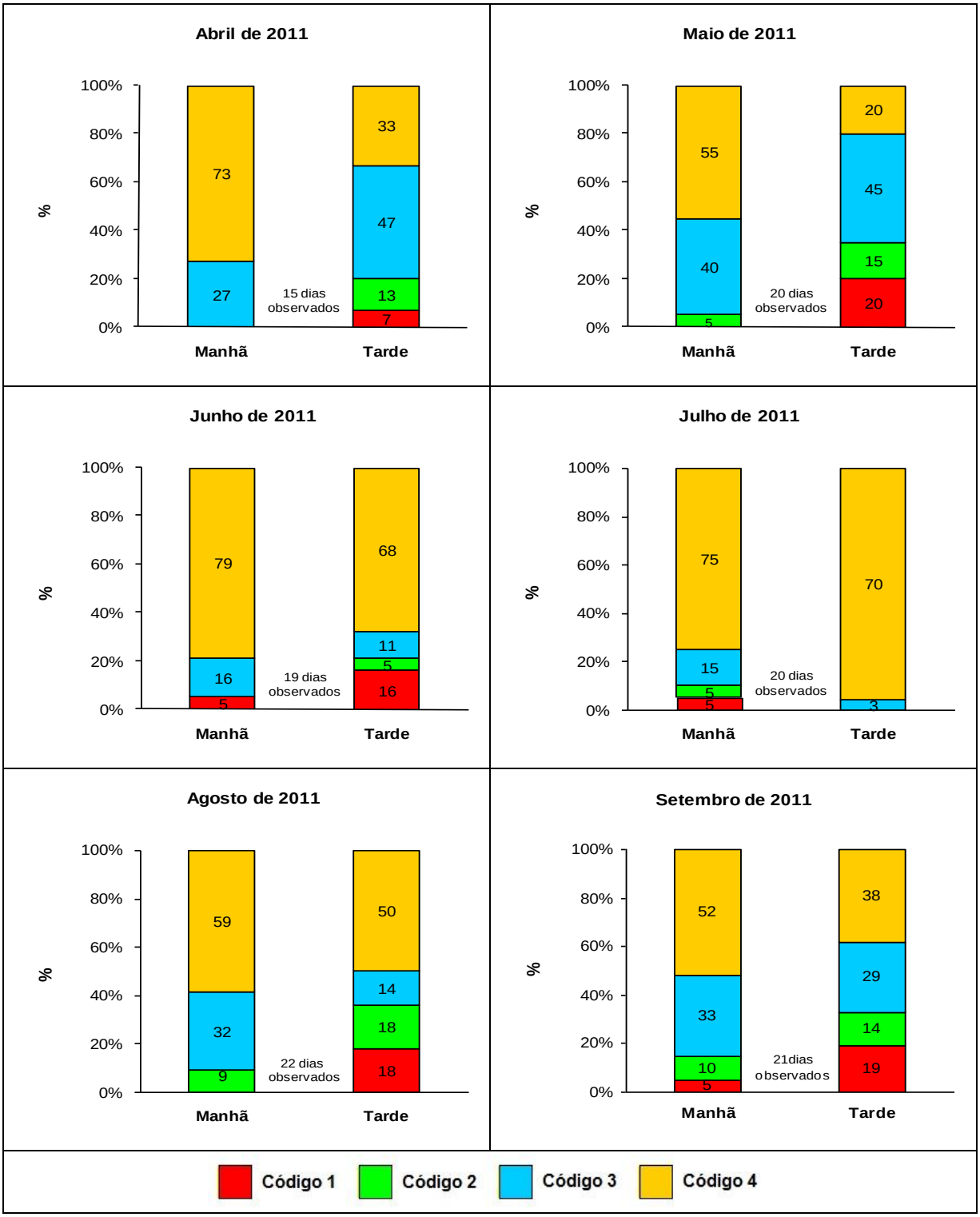


Figura 43. Proporção de dias em que a microbacia “D” esteve sob os quatro códigos de visibilidade nos períodos da manhã e da tarde, nos meses de abril a setembro de 2011.

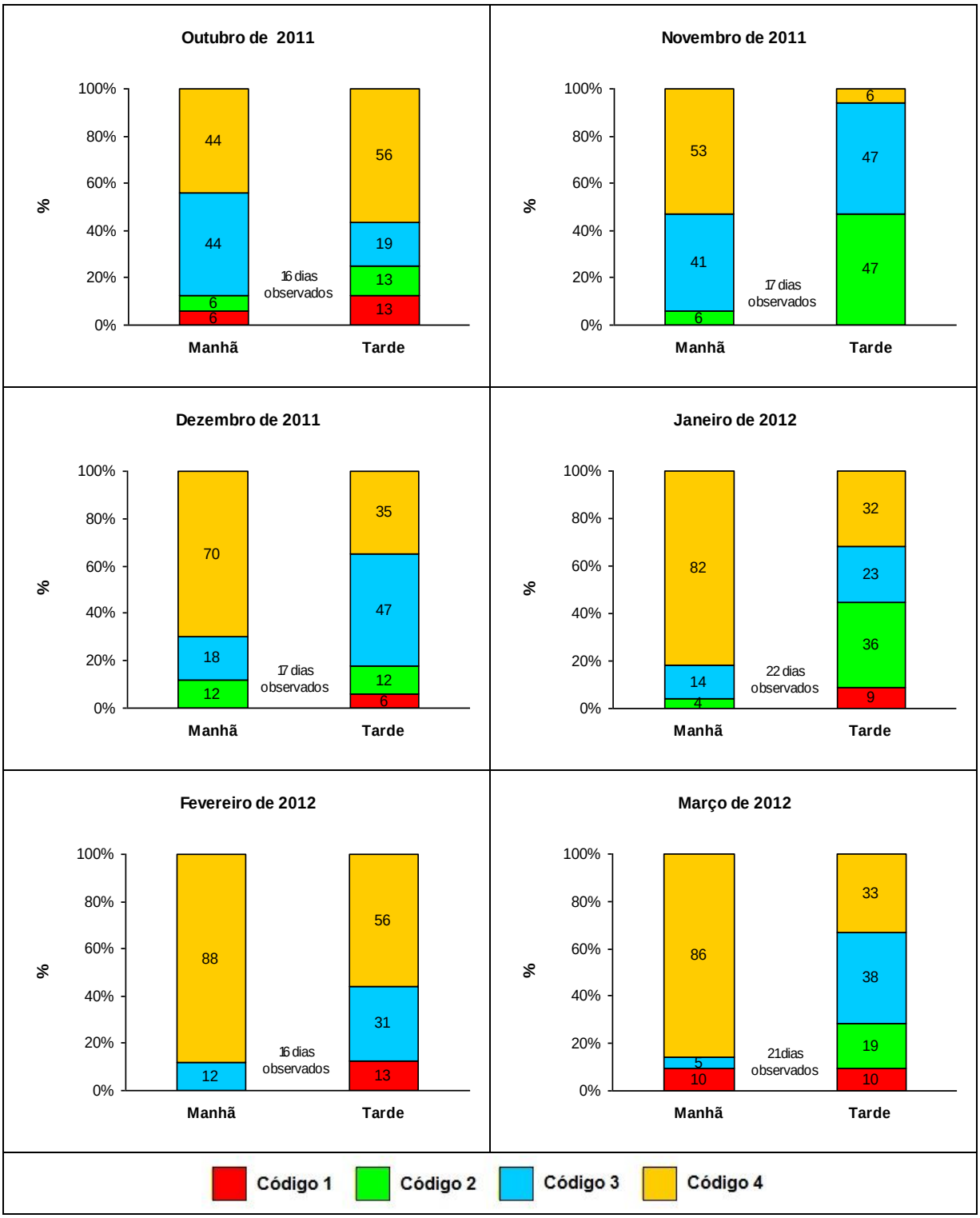


Figura 44. Proporção de dias em que a microbacia “D” esteve sob os quatro códigos de visibilidade nos períodos da manhã e tarde, nos meses de outubro de 2011 a março de 2012.

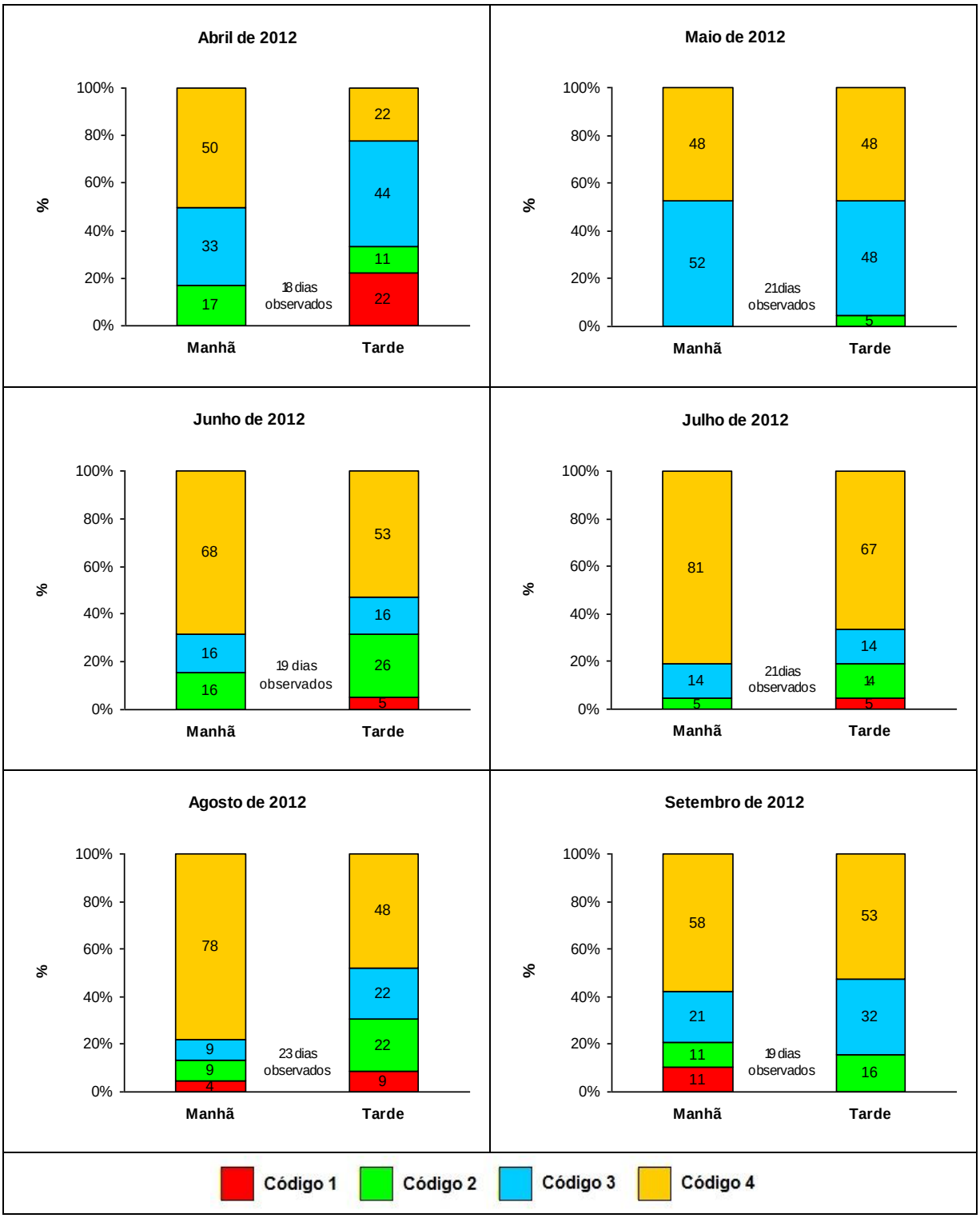


Figura 45. Proporção de dias em que a microbacia “D” esteve sob os quatro códigos de visibilidade nos períodos da manhã e tarde, nos meses de abril a setembro de 2012.

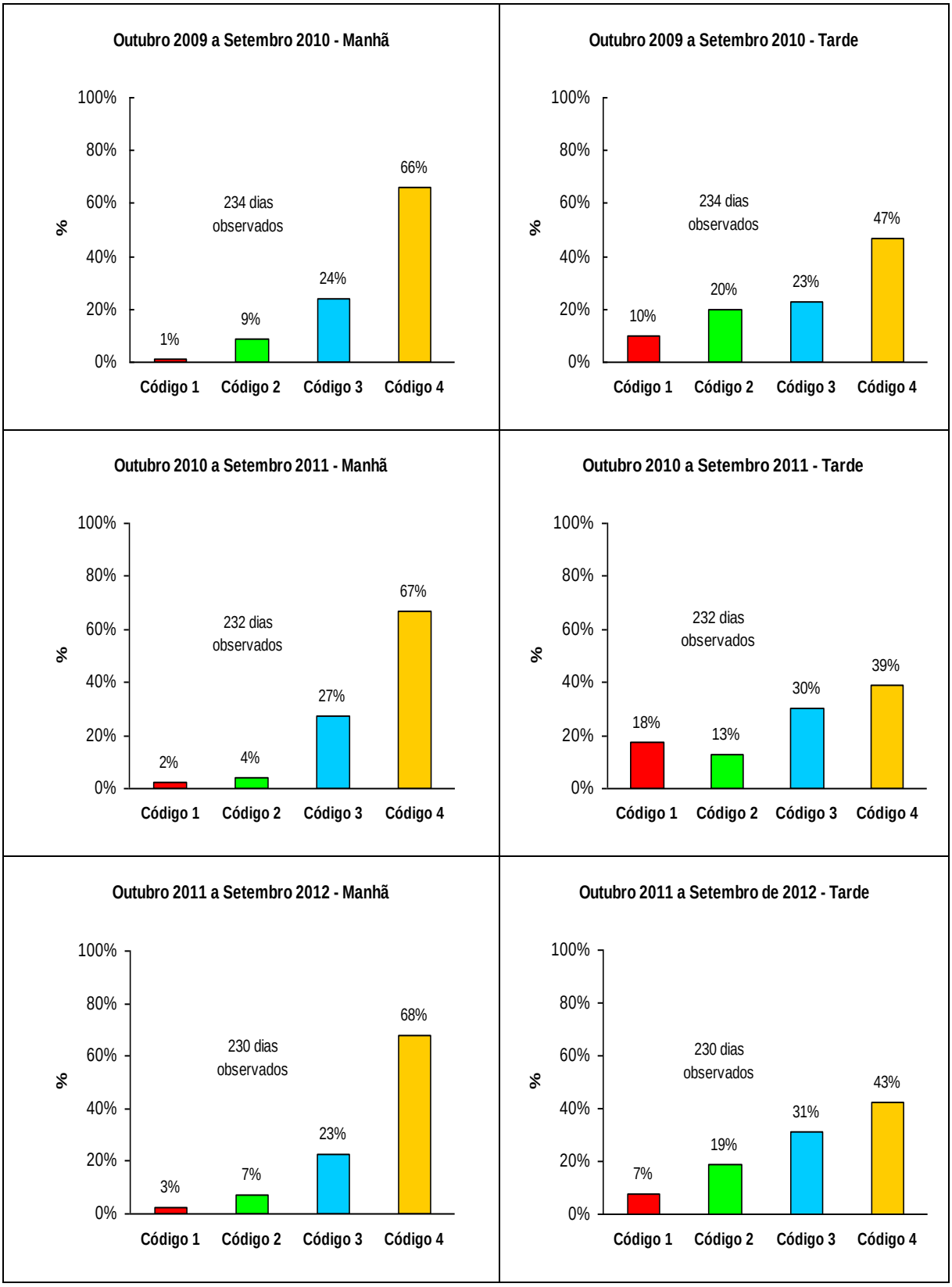


Figura 46. Síntese dos resultados dos percentuais de ocorrência dos códigos de visibilidade da microbacia “D” nos períodos da manhã e da tarde, para os três anos de observação.

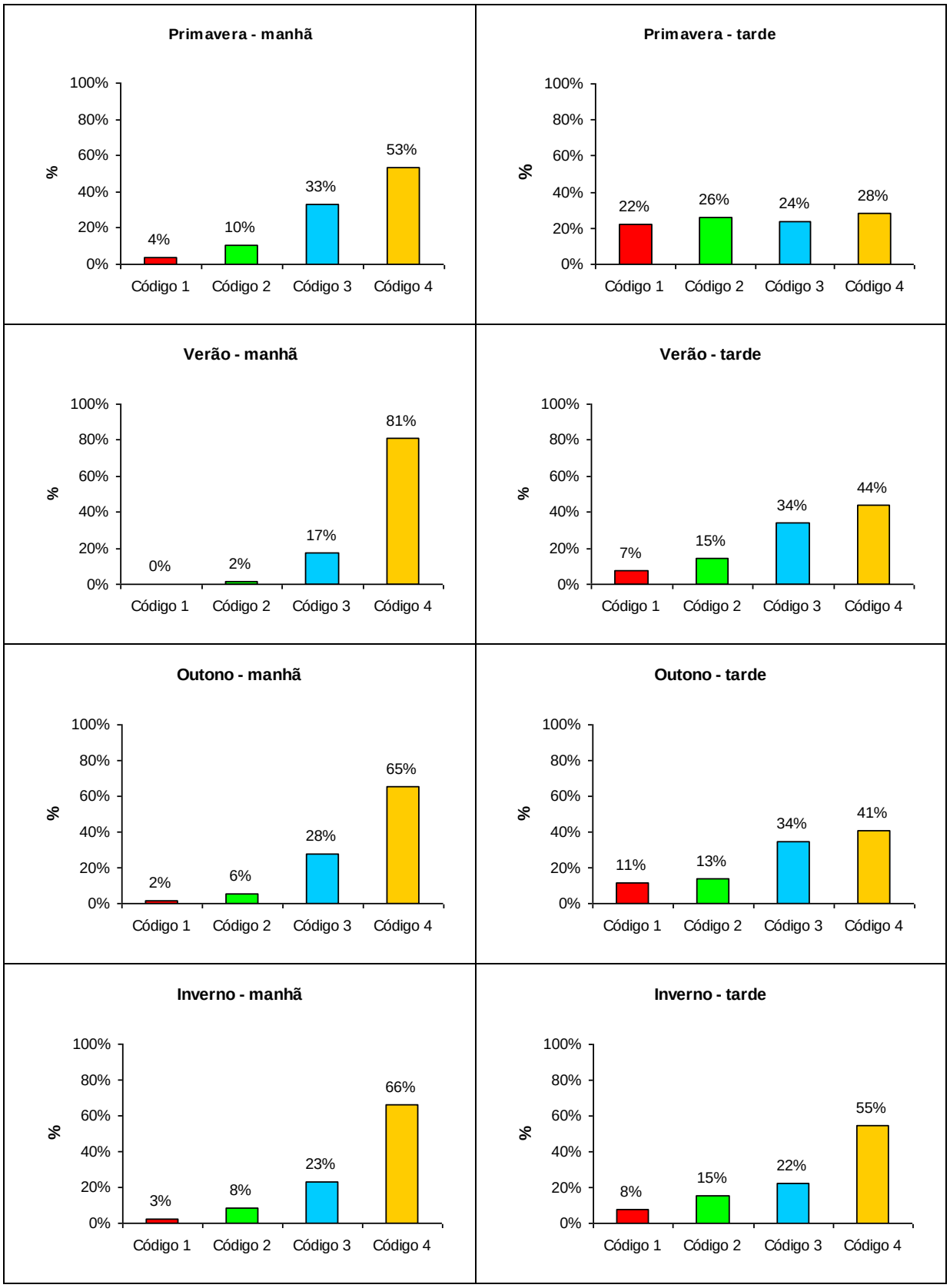


Figura 47. Códigos de visibilidade observados na microbacia “D”, nas estações do ano, durante o período estudado.

5.3 Desempenho dos coletores de água de nevoeiros

Na presente pesquisa não foram usadas repetições para cada tipo de coletor e, portanto, os resultados obtidos dizem respeito apenas aos equipamentos e condições avaliadas.

A alternativa de cobrir o coletor com compensado naval mostrou-se eficiente na obstrução da entrada de água das chuvas verticais e também inclinadas, como verificado no campo durante inúmeros eventos pluviométricos de diferentes magnitudes. Todavia, há que se considerar que no L.H.F.W.E., frequentemente, ocorrem episódios de chuva ou garoa dirigida pelo vento, de baixa intensidade, que perduram por horas, caracterizadas por gotas de tamanho reduzido que se movimentam quase horizontalmente. Esses, normalmente, acontecem associados aos nevoeiros. Assim, deve ser ponderado o fato de que nestas ocasiões, as coletas podem ser resultado da mistura da água proveniente dos dois processos meteorológicos, indo ao encontro das dificuldades previstas por Bruijnzeel (2001), Bruijnzeel, Eugster e Burkard (2005), McJannet e Wallace (2006) e Frumau et al. (2011) para a quantificação da água dos nevoeiros pelos coletores passivos.

No que diz respeito ao coletor com cobertura cônica, observações de campo realizadas nos dias 9/11/2010, 20/01/2011 e 15/03/2011, durante episódios de chuva convencionais (não dirigidas pelo vento), quando não houve nevoeiro, evidenciaram que a cobertura não é suficiente para impedir a entrada de água pluvial no coletor, fazendo-a inócua para esta finalidade. Neste sentido, a ocorrência documentada no dia 20/01/2011 é bastante ilustrativa. Para um episódio de precipitação pluviométrica de 13 mm e 15 minutos de duração, o coletor interceptou um volume de 182 mL de água proveniente, exclusivamente, da chuva (Figura 48).

Figura 48. Água de chuva interceptada pelo coletor cilíndrico protegido por cobertura cônica. (Foto: Francisco C. S. Arcova, 20/01/2011, 18 h 00 min).

Para a comparação da eficiência de coleta dos quatro equipamentos, foram selecionados eventos nos quais não ocorreu chuva. Os registros do pluviógrafo instalado na estação meteorológica (resolução de 0,5 mm/caçamba) foram analisados para saber quando choveu ou não. Considerou-se que a água retida nos coletores durante os eventos em que não houve registro no pluviógrafo originou-se, unicamente, de nevoeiro.

O resultado do R-ANOVA para comparação das médias do volume de coleta dos quatro coletores mostra que houve diferença estatística significativa com 1% de significância ($P<0,0001$), (Tabela 11).

Tabela 11 – Análise da Variância do Ranking dos volumes de coleta nos coletores de água de nevoeiro.

CV	GL	Valor F	Prob > F
Coletor	3	139,25	< 0,0001
Resíduo	692		
Total	695		

O teste de comparações múltiplas de Tukey (5% de significância) indica que as médias de coletas diferiram de coletor para coletor, exceto entre o coletor cilíndrico descoberto e o coletor plano (Tabela 12).

Tabela 12 – Resultado do teste de comparações múltiplas de Tukey, a 5% de significância, para médias do ranking dos volumes de coleta nos coletores de água de nevoeiro.

Coletor	Média	
Cilíndrico descoberto	471,25	**a**
Plano	447,41	**a**
Cilíndrico c/ cobertura cônica	310,61	**b**
Cilíndrico c/ cobertura de compensado	164,73	**c**

Obs: médias com a mesma letra indicam que não houve diferença significativa.

Na Tabela 13 são apresentados os volumes de água coletados pelos quatro equipamentos nos 174 eventos amostrados e inclui a média de cada um deles.

Se por um lado, a cobertura de compensado instalada sobre o coletor cilíndrico foi eficiente na eliminação da chuva não dirigida pelo vento, por outro, o coletor mostrou-se pouco eficaz na coleta de água de nevoeiro, com a menor média obtida pelos quatro aparelhos. Para a maior parte dos eventos, esse coletor captou volumes de água inferiores aos dos outros equipamentos, sendo que em muitas ocasiões não reteve qualquer volume de água. As quantidades de água interceptadas pelo coletor com a cobertura cônica aumentaram, comparativamente às do coletor protegido pela placa de compensado, porém sempre foram inferiores às dos coletores descobertos. A razão entre o volume médio recolhido pelo coletor cilíndrico descoberto e o volume nos coletores com cobertura de madeira e cobertura cônica foi de 17,8 e 3,3, respectivamente. Assim, está evidente que a presença de uma cobertura instalada sobre os coletores cilíndricos influenciou as

taxas de coleta da água de nevoeiro, subestimando-as em maior ou menor grau. Este fenômeno é resultado de mudanças que ocorrem nos fluxos de vento ao redor do coletor, como mencionado por Schemenauer e Cereceda (1995).

Embora, estatisticamente, a média do volume de água interceptado pelo coletor cilíndrico descoberto não diferiu da do coletor plano, a razão entre ambas foi considerável, de 1,5. Em 126 dos 174 eventos amostrados a coleta foi maior no primeiro coletor. Isto está relacionado ao fato de que o coletor cilíndrico capta água qualquer que seja a direção do vento, enquanto a eficiência de coleta do dispositivo plano aumenta à medida que a direção do vento se aproxima da perpendicular à superfície coletora (JUVIK; NULLET, 1995; SCHEMENAUER; CERECEDA, 1995). A segunda afirmação parece explicar o fato de que em alguns períodos o coletor plano reteve mais água que o cilíndrico. Desta forma, variações na direção do vento quando da ocorrência dos nevoeiros devem ter influenciado a taxa de coleta pelos dois equipamentos.

Por outro lado, devido à maior superfície, o coletor plano foi o único dos quatro equipamentos avaliados a interceptar água em todos os 174 eventos amostrados, donde deve se destacar sua vantagem na medição dos volumes de água para eventos como os dos dias 10/02/2011, 31/05/2011, 29/07/2011 e 19/07/2012, quando valores de apenas 3,1 $mL.m^{-2}$, 4,1 $mL.m^{-2}$, 5,1 $mL.m^{-2}$ e 10,2 $mL.m^{-2}$ foram obtidos, respectivamente. Portanto, para nevoeiros de curta duração, e/ou de baixo teor de umidade e/ou de velocidade do vento reduzida, o coletor plano apresentou melhor desempenho que o cilíndrico, anuindo com as afirmações apresentadas em Schemenauer e Cereceda (1995) e Holwerda, Bruijnzeel e Scatena (2010).

Tabela 13 - Volumes de água captados nos quatro coletores avaliados.

Data de coleta	Volume de água coletado ($mL.m^{-2}$)			
		Coletor cilíndrico		
	Coletor plano	Coberto com placa de compensado	Coberto com chapa galvanizada cônica	Descoberto
01 out. 2010	51,0	5,5	0,0	4,1
05. out. 2010	142,9	29,1	80,0	142,9
06 out. 2010	132,7	18,2	172,7	173,5
07 out. 2010	164,0	0,0	25,5	377,6
14 out. 2010	14,0	0,0	0,0	0,0
15 out. 2010	15,0	61,2	3,6	21,8
21 out. 2010	45,9	1,8	27,3	31,6
22 out. 2010	357,1	87,3	254,5	510,2
29 out. 2010	113,3	0,0	32,7	193,9
04 nov. 2010	290,8	18,2	127,3	387,8
05 nov. 2010	93,9	0,0	36,4	71,4
19 nov. 2010	195,9	7,3	76,4	185,7
30 nov. 2010	15,3	0,0	0,0	81,6
24 jan. 2011	489,8	0,0	112,7	673,5
25 jan. 2011	130,6	0,0	9,1	183,7
26 jan. 2011	149,0	0,0	25,5	214,3
27 jan. 2011	132,7	0,0	1,8	102,0
04 fev. 2011	38,8	0,0	0,0	0,0
08 fev. 2011	208,2	0,0	54,5	275,5
09 fev. 2011	41,8	0,0	0,0	30,6
10 fev. 2011	3,1	0,0	0,0	0,0
23 mar. 2011	28,6	0,0	5,5	0,0
08 abr. 2011	98,0	36,4	61,8	120,4
15 abr. 2011	13,3	0,0	100,0	387,8
18 abr. 2011	38,8	1,8	21,8	91,8
19 abr. 2011	4,1	0,0	54,5	306,1
04 mai. 2011	13,3	0,0	1,8	0,0
05 mai. 2011	71,4	0,0	18,2	204,1
06 mai. 2011	163,3	0,0	27,3	234,7
09 mai. 2011	849,0	9,1	336,4	1234,7
12 mai. 2011	265,3	81,8	0,0	418,4
19 mai. 2011	28,6	0,0	0,0	2,0
20 mai. 2011	140,8	1,8	40,0	142,9
23 mai. 2011	959,2	34,5	527,3	1326,5
25 mai. 2011	332,7	72,7	227,3	551,0
26 mai. 2011	285,7	0,0	90,9	408,2
31 mai. 2011	5,1	0,0	0,0	0,0
01 jun. 2011	298,0	54,5	190,9	326,5

continua

continuação

Data de coleta	Volume de água coletado (mL.m^{-2})			
		Coletor cilíndrico		
	Coletor plano	Coberto com placa de compensado	Coberto com chapa galvanizada cônica	Descoberto
03 jun. 2011	120,4	0,0	30,9	102,0
14 jun. 2011	398,0	3,6	192,7	571,4
17 jun. 2011	385,7	20,0	254,5	581,6
20 jun. 2011	1061,2	0,0	527,3	1357,1
21 jun. 2011	191,8	0,0	36,4	224,5
22 jun. 2011	386,7	9,1	243,6	602,0
29 jun. 2011	336,7	12,7	272,7	642,9
30 jun. 2001	158,2	0,0	5,5	102,0
01 jul. 2011	366,3	10,9	218,2	500,0
12 jul. 2011	428,6	36,4	272,7	673,5
13 jul. 2011	406,1	3,6	263,6	693,9
14 jul. 2011	366,3	0,0	290,9	602,0
15 jul. 2011	410,2	5,5	272,7	683,7
18 jul. 2011	826,5	0,0	381,8	1326,5
19 jul. 2011	156,1	0,0	20,0	234,7
21 jul. 2011	234,7	5,5	65,5	306,1
22 jul. 2011	5,1	0,0	0,0	0,0
26 jul. 2011	201,0	58,2	105,5	265,3
28 jul. 2011	371,4	1,8	172,7	591,8
29 jul. 2011	4,1	0,0	0,0	0,0
08 ago. 2011	473,5	0,0	82,7	714,3
09 ago. 2011	53,1	0,0	0,0	51,0
16 ago. 2011	148,0	81,8	118,2	142,9
17 ago. 2011	153,1	0,0	25,5	202,0
18 ago. 2011	217,3	0,0	27,3	346,9
19 ago. 2011	135,7	0,0	20,0	204,1
25 ago. 2011	60,2	1,8	37,3	51,0
31 ago. 2011	302,0	161,8	294,5	326,5
02 set. 2011	5,1	3,6	7,3	2,0
05 set. 2011	75,5	27,3	490,9	1204,1
06 set. 2011	66,3	0,0	0,0	102,0
08 set. 2011	149,0	38,2	161,8	206,1
13 set. 2011	239,8	0,0	181,8	285,7
16 set. 2011	45,9	0,0	170,9	40,8
19 set. 2011	677,6	69,1	381,8	969,4
20 set. 2011	159,2	0,0	21,8	193,9
23 set. 2011	234,7	61,8	121,8	224,5
27 set. 2011	250,0	30,9	154,5	581,6
28 set. 2011	153,1	16,4	96,4	183,7

continua

continuação

Data de coleta	Volume de água coletado (mL.m^{-2})			
		Coletor cilíndrico		
	Coletor plano	Coberto com placa de compensado	Coberto com chapa galvanizada cônica	Descoberto
30 set. 2011	255,1	0,0	101,8	449,0
24 out. 2011	436,7	0,0	0,0	10,2
25 out. 2011	145,9	0,0	0,0	0,0
26 out. 2011	187,8	0,0	0,0	0,0
27 out. 2011	170,4	0,0	45,5	255,1
08 nov. 2011	132,7	110,9	150,9	204,1
09 nov. 2011	193,9	0,0	38,2	306,1
10 nov. 2011	30,6	0,0	0,0	0,0
18 nov. 2011	30,6	0,0	7,3	153,1
25 nov. 2011	224,5	0,0	74,5	153,1
29 nov. 2011	15,3	0,0	0,0	0,0
22 dez. 2011	60,2	0,0	0,0	102,0
05 jan. 2012	20,4	0,0	0,0	5,1
06 jan. 2012	15,3	0,0	0,0	0,0
23 jan. 2012	346,9	0,0	11,8	204,1
26 jan. 2012	30,6	0,0	0,0	0,0
31 jan. 2012	173,5	20,0	29,1	255,1
01 fev. 2012	199,0	0,0	21,8	204,1
03 fev. 2012	255,1	0,0	80,0	357,1
06 fev. 2012	653,1	0,0	20,0	357,1
08 fev. 2012	234,7	0,0	70,9	255,1
09 fev. 2012	168,4	0,0	10,9	255,1
10 fev. 2012	71,4	0,0	0,0	102,0
14 fev. 2012	163,3	0,0	7,3	204,1
16 fev. 2012	153,1	29,1	34,5	204,1
17 fev. 2012	132,7	10,9	12,7	255,1
29 fev. 2012	238,8	0,0	94,5	163,3
07 mar. 2012	351,0	1,8	145,5	357,1
08 mar. 2012	138,8	16,4	21,8	102,0
09 mar. 2012	146,9	0,0	10,0	102,0
21 mar. 2012	398,0	40,0	192,7	459,2
22 mar. 2012	15,3	0,0	0,0	0,0
27 mar. 2012	132,7	0,0	1,8	102,0
30 mar. 2012	132,7	36,4	72,7	204,1
10 abr. 2012	25,5	0,0	0,0	10,2
12 abr. 2012	108,2	10,0	25,5	8,2
18 abr. 2012	112,2	7,3	23,6	204,1
19 abr. 2012	107,1	0,0	5,5	153,1
24 abr. 2012	165,3	98,2	90,9	285,7

continua

continuação

Data de coleta	Volume de água coletado (mL.m^{-2})			
		Coletor cilíndrico		
	Coletor plano	Coberto com placa de compensado	Coberto com chapa galvanizada cônica	Descoberto
25 abr. 2012	163,3	155,5	145,5	326,5
26 abr. 2012	183,7	0,0	27,3	204,1
07 mai. 2012	418,4	163,6	254,5	561,2
08 mai. 2012	127,6	0,0	1,8	255,1
10 mai.2012	398,0	45,5	252,7	459,2
11 mai. 2012	10,2	0,0	0,0	51,0
21 mai. 2012	306,1	0,0	18,2	459,2
23 mai. 2012	91,8	0,0	0,0	153,1
24 mai. 2012	250,0	38,2	116,4	408,2
25 mai.2012	112,2	0,0	9,1	255,1
30 mai. 2012	428,6	47,3	318,2	816,3
31 mai. 2012	316,3	7,3	172,7	612,2
14 jun. 2012	51,0	5,5	3,6	204,1
15 jun. 2012	112,2	0,0	1,8	204,1
18 jun. 2012	744,9	272,7	272,7	1173,5
19 jun. 2012	10,2	0,0	0,0	0,0
27 jun. 2012	244,9	3,6	143,6	612,2
28 jun. 2012	199,0	0,0	74,5	459,2
29 jun. 2012	214,3	1,8	103,6	459,2
02 jul. 2012	1096,9	47,3	676,4	1632,7
03 jul. 2012	423,5	36,4	310,9	714,3
04 jul. 2012	377,6	34,5	280,0	714,3
05 jul. 2012	295,9	14,5	163,6	561,2
06 jul. 2012	367,3	32,7	254,5	816,3
11 jul. 2012	163,3	0,0	45,5	357,1
12 jul. 2012	5,1	0,0	0,0	0,0
20 jul. 2012	183,7	190,9	181,8	326,5
23 jul. 2012	418,4	0,0	0,0	510,2
24 jul. 2012	331,6	9,1	189,1	714,3
25 jul. 2012	25,5	0,0	0,0	51,0
27 jul. 2012	35,7	0,0	0,0	51,0
30 jul. 2012	617,3	63,6	149,1	765,3
02 ago. 2012	316,3	60,0	181,8	510,2
03 ago. 2012	336,7	29,1	263,6	714,3
07 ago. 2012	25,5	0,0	0,0	102,0
08 ago. 2012	234,7	130,9	167,3	459,2
09 ago. 2012	148,0	0,0	10,9	255,1
10 ago. 2012	392,9	254,5	389,1	765,3
13 ago. 2012	663,3	0,0	272,7	1122,4

continua

continuação

Data de coleta	Volume de água coletado ($mL.m^{-2}$)			
		Coletor cilíndrico		
	Coletor plano	Coberto com placa de compensado	Coberto com chapa galvanizada cônica	Descoberto
14 ago. 2012	239,8	0,0	63,6	408,2
16 ago. 2012	234,7	0,0	130,9	459,2
17 ago. 2012	413,3	109,1	380,0	816,3
20 ago. 2012	1132,7	81,8	818,2	1989,8
21 ago. 2012	20,4	0,0	0,0	0,0
22 ago. 2012	51,0	0,0	0,0	102,0
23 ago. 2012	148,0	0,0	23,6	306,1
24 ago. 2012	260,2	27,3	140,0	510,2
27 ago. 2012	693,9	23,6	290,9	1275,5
03 set. 2012	316,3	16,4	672,7	1632,7
06 set. 2012	234,7	0,0	96,4	418,4
10 set. 2012	367,3	0,0	0,0	306,1
12 set. 2012	112,2	18,2	14,5	153,1
13 set. 2012	204,1	0,0	63,6	408,2
18 set. 2012	15,3	0,0	0,0	0,0
19 set. 2012	45,9	0,0	0,0	102,0
01 out. 2012	1551,0	0,0	110,9	765,3
Média	**231,6**	**19,5**	**106,4**	**347,3**

5.4 Potencial hidrológico dos nevoeiros no L.H.F.W.E.

Com o propósito de verificar o potencial hidrológico dos nevoeiros no L.H.F.W.E., foram analisados os dados das taxas de água coletadas no coletor cilíndrico coberto com compensado naval e também do coletor cilíndrico descoberto. Os dados obtidos com o primeiro coletor constituem-se de eventos de nevoeiro que ocorreram com chuva ou sem ela, indistintamente, enquanto que os gerados pelo coletor aberto são apenas de dias sem chuva.

O período de observações do coletor coberto estendeu-se por 36 meses. O número de coletas foi considerável; foram 104 entre outubro de 2009 e setembro de 2010, 122 entre outubro de 2010 e setembro de 2011 e 108 entre outubro de 2011 e setembro de 2012 (Figura 49), correspondendo a aproximadamente 30% do tempo amostrado. A frequência de coleta foi maior que a determinada em estudo na África do Sul, onde Olivier e Rautenbach (2002) recolheram água em 112 de um total de 510 dias amostrados. Por outro lado, foi muito inferior que no Parque Rural Teno, nas Ilhas Canárias, onde, no período de janeiro de 2000 a março de 2001 houve 325 dias de coleta (MARZOL, 2002), que na Ilha da Madeira, onde houve 170 dias de coleta ao ano (PRADA et al., 2004) e, também, em Pico del Oeste nas montanhas Luquillo (Porto Rico), onde de 100 dias amostrados apenas 1 não coletou água (HOLWERDA et al., 2010a).

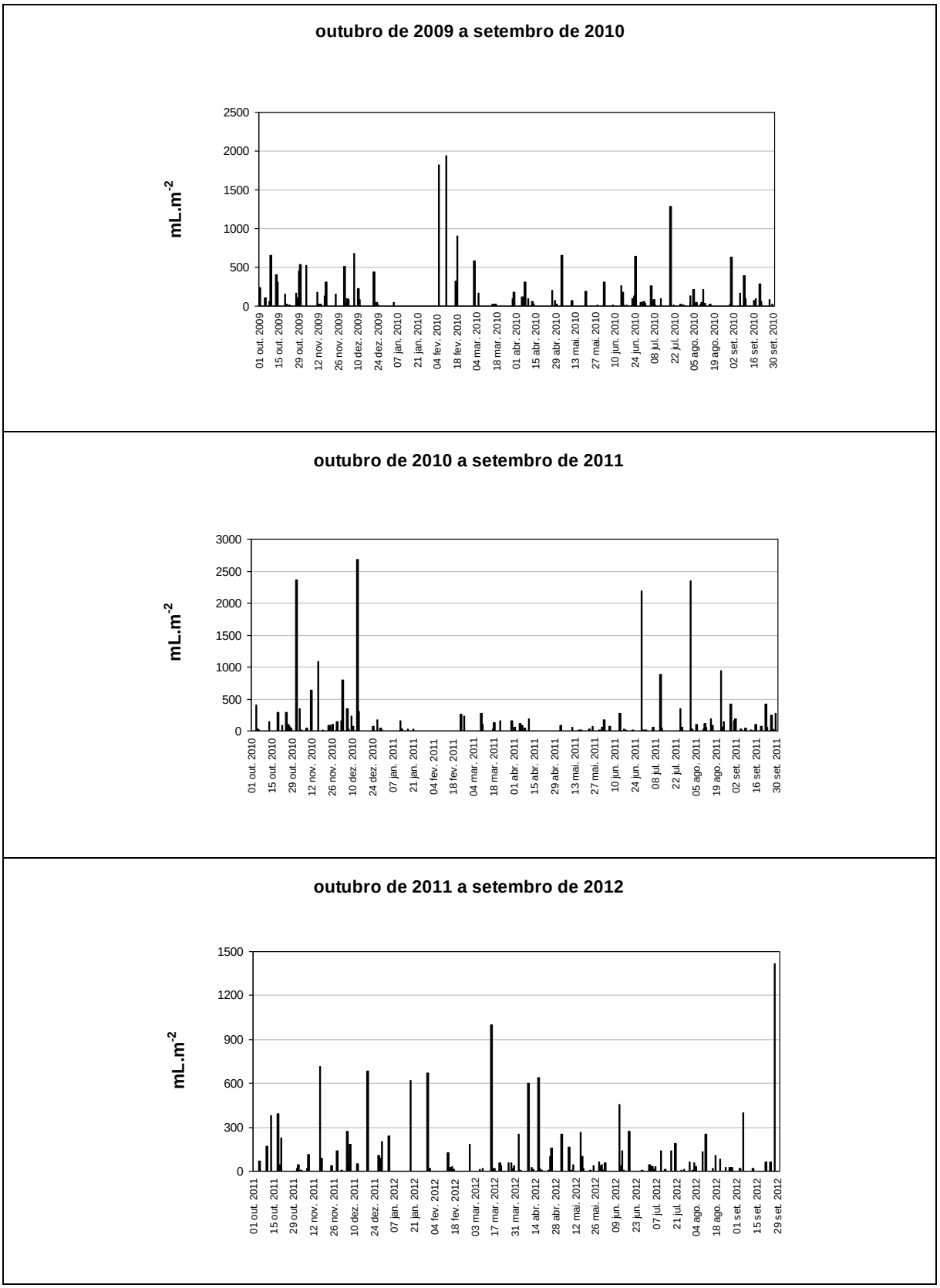


Figura 49. Volume de água de nevoeiro captado no coletor cilíndrico coberto com compensado, nos períodos de outubro de 2009 a setembro de 2010, outubro de 2010 a setembro de 2011 e outubro de 2011 a setembro de 2012.

Deve-se considerar que os números registrados no presente estudo são subestimados, uma vez que foi constatado no item anterior que a eficiência de coleta deste equipamento é baixa: ele não interceptou qualquer volume de água em várias ocasiões nas quais os outros coletores o fizeram. Ainda, alguns eventos nos fins de semana e em feriados prolongados constituem-se na somatória de ocorrências de mais de um dia de coleta.

Alguns eventos se destacaram ao longo dos três anos, com taxas muito superiores às demais. O fato do equipamento não estar provido de um sistema automático de registro de água ao longo do tempo, como recomendado para os estudos desse gênero (BRUIJNZEEL, 2001; BRUIJNZEEL; EUGSTER; BURKARD, 2005) dificulta revelar as causas dessas disparidades. Porém, inferências podem ser feitas no intuito de elucidar o sucedido.

Assim, os maiores valores registrados do período de outubro de 2010 a setembro de 2011 devem-se, provavelmente, ao fato de originarem-se da adição de mais de um episódio de nevoeiro. As coletas dos dias 01 de novembro e 13 de dezembro de 2010 iniciaram na sexta-feira e prolongaram-se até a manhã da segunda-feira. Os volumes recolhidos em 28 de junho e 01 de agosto de 2011 resultaram de coletas que perduraram por seis e cinco dias, respectivamente. Nos dois últimos eventos, há também a possibilidade de ter ocorrido mistura de água de chuvas dirigidas pelos ventos com a de nevoeiro. Nesses períodos houve registros característicos desse tipo de precipitação no pluviógrafo da estação meteorológica, isto é, pulsos de 0,5 mm separados por amplos intervalos de tempo.

O evento mais expressivo do período de outubro de 2011 a setembro de 2012 ocorreu no dia 27 do último mês do estudo e totalizou 1418 $mL.m^{-2}$. Este episódio caracterizou-se pela ocorrência de chuva dirigida pelo vento, que persistiu das 7 às 17 horas do dia 26, acompanhada de ventos intensos, pouco comuns na região, com rajadas de até 8,5 $m.s^{-1}$, conforme registros de um novo anemógrafo (HOBO Onset U-30), instalado na estação meteorológica em julho de 2012. Ainda, uma segunda chuva dirigida pelo vento, que teve início nas primeiras horas do dia 27, pode ter contribuído para o montante de água interceptada pelo coletor.

Não foi verificada qualquer tendência à sazonalidade; fato corroborado pela observação da Figura 50, quando os dados são agrupados em base mensal.

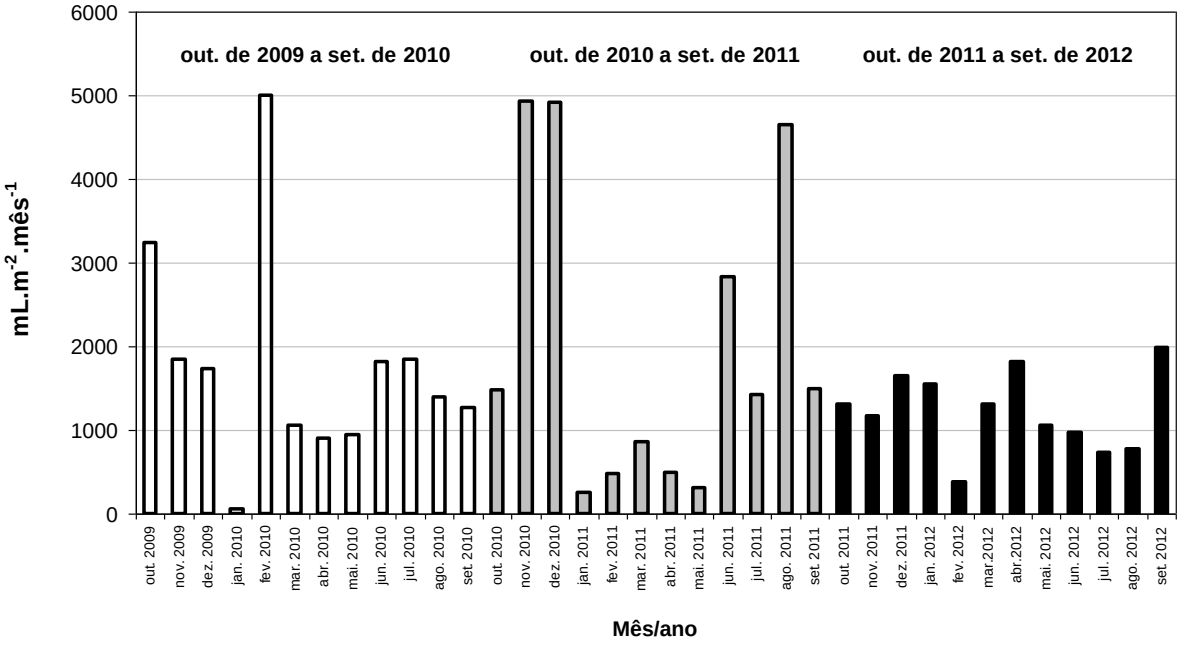


Figura 50. Taxas mensais de coleta de água de nevoeiro obtidas pelo coletor cilíndrico coberto com compensado, no período de outubro de 2009 a setembro de 2012.

Houve coleta ao longo de todo o período estudado. Os volumes variaram de 1,8 a 2.682 $mL.m^{-2}$. A taxa média diária foi calculada em 77,9 $mL.m^{2}.d^{-1}$ (0,08 $L.m^{-2}.d^{-1}$). Esse é um valor muito baixo quando comparado com os de outras localidades (Tabela 1), sendo próximo aos menores valores determinados por Schemenauer, Osses e Leibbrand (2002) no Yemen, de 0,02 $L.m^{-2}.d^{-1}$.

Entre maio de 2010 e outubro de 2012, foram efetuadas 194 coletas de água de nevoeiro sem a presença de chuva no coletor cilíndrico descoberto (Figura 51). Os volumes variaram de 2,0 a 1.990 $mL.m^{-2}$. Os montantes mais expressivos derivaram de eventos de fim de semana que podem ser resultado do acúmulo de água de até três dias (sexta-feira após a coleta, sábado e domingo). A taxa média diária, considerando apenas os dias com ocorrência de nevoeiro, foi calculada em 290,5 $mL.m^{-2}.d^{-1}$ (0,290 $L.m^{-2}.d^{-1}$). É um valor 3,7 vezes maior que a média de coleta obtida pelo coletor coberto. Porém, ainda é baixo quando comparado com resultados de pesquisas desenvolvidas em outras localidades (Tabela 1). A taxa média encontrada equipara-se aos menores números observados por Olivier (2002) na África do Sul.

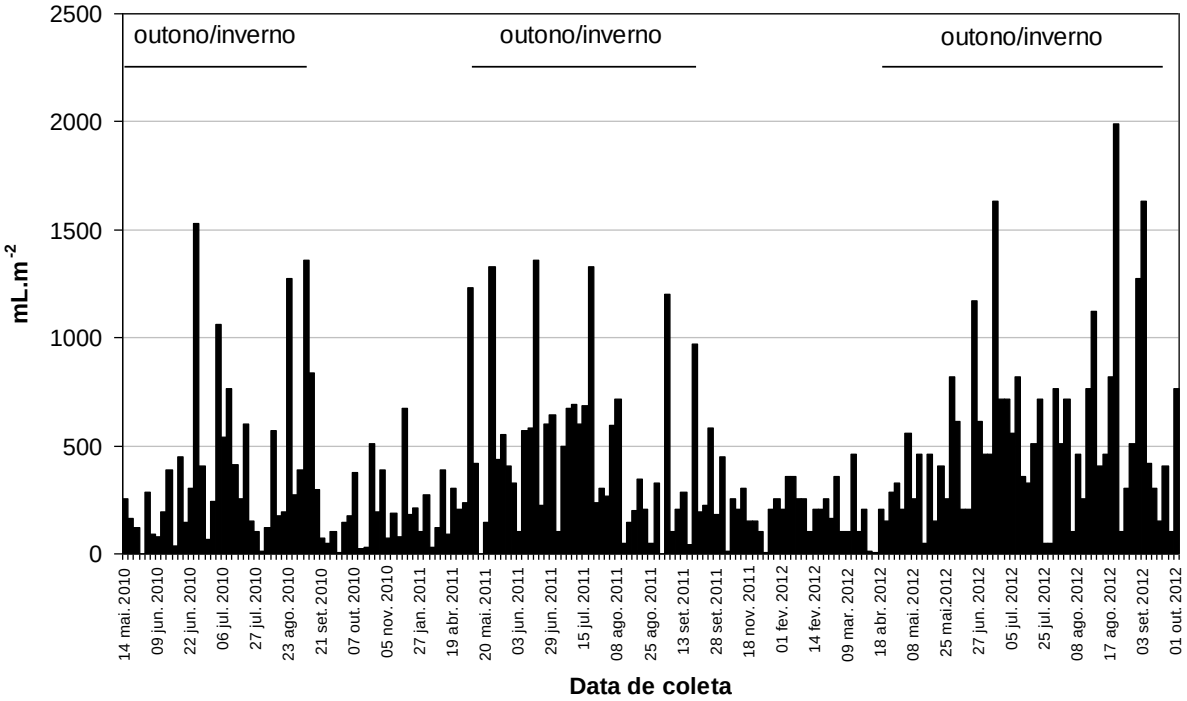


Figura 51. Volume de água de nevoeiro captado pelo coletor cilíndrico descoberto nos eventos sem ocorrência de chuva, no período de maio de 2010 a outubro de 2012.

Os maiores volumes de coleta incidiram no outono e no inverno (Figura 51). Em 2010, 2011 e 2012 os volumes totais de água interceptados foram 14.226 $mL.m^{-2}$, 21.298 $mL.m^{-2}$ e 28.671 $mL.m^{-2}$, respectivamente, contra apenas 3.817 $mL.m^{-2}$ e 6.464 $mL.m^{-2}$ na primavera e verão. O número de eventos com nevoeiro também variou com a época do ano; foram 37, 49 e 58 nas estações menos chuvosas e apenas 21 e 38 na primavera e verão.

Os totais de coleta superiores nas estações de outono e inverno podem estar associados à dinâmica de circulação regional, pois nessa latitude ocorre predomínio do Anticiclone no Atlântico Sul dinamizada pela Massa Tropical Atlântica. Esse padrão de circulação regional confere direções predominantes do quadrante leste, resultando em deslocamento de umidade do Oceano Atlântico em direção ao continente. Mesmo o Anticiclone consistindo-se em um centro de alta pressão (tempo estável), a parcela de ar úmido é forçada, mecanicamente, a se elevar no encontro com a Serra do Mar, resultando em resfriamento adiabático. Como a área de estudo está distante cerca de 15 km do Oceano, essa influência é perceptível na região, em especial, nos meses de outono e inverno, conforme visualizado na Figura 51 (MONTEIRO, 1973).

Embora a frequência de ocorrência dos nevoeiros em Cunha tenha se mostrado elevada, as taxas de coleta de água foram reduzidas. Para entender o porque desse modesto desempenho, é necessário avaliar como os fatores que influenciam a captação de água pelos coletores passivos contribuíram para que as quantidades de água recolhidas tenham sido pouco significativas.

O primeiro fator a ser considerado refere-se aos tipos de nevoeiros que ocorrem no L.H.F.W.E. Eles são: de vapor, de radiação e orográfico. Apesar da consistente incidência de nevoeiros de vapor na área de estudo, eles permanecem circunscritos aos corpos d'água que lá existem, não se disseminando além destes. Também, eles são de curta duração e muito pouco densos (baixo teor de umidade), de tal forma que não apresentam potencial para coleta de água. Assim, restam o nevoeiro orográfico e o de radiação como possíveis geradores da água coletada.

Não obstante a literatura faça referência aos nevoeiros orográficos como sendo os principais responsáveis pela água coletada nos mais diferentes ambientes, em Cunha sua importância pode ser relativizada, pois foi constatado que em vários eventos a água derivou de nevoeiros de radiação. A Tabela 14, elaborada a partir de registros do pluviógrafo acoplado ao coletor plano, é ilustrativa dessa condição. Ela mostra os horários em que houve entrada de água no equipamento durante 20 eventos de nevoeiro sem a presença de chuva. São observados dois padrões distintos: registros de não mais que três horas de duração, que ocorreram á tarde, quando predominam os nevoeiros orográficos no L.H.F.W.E. e outros que prolongaram-se por várias horas, durante a noite, com muitos deles estendendo-se até o alvorecer. Esses registros, provavelmente, são oriundos de nevoeiros de radiação. A formação desse tipo de nevoeiro, na condição acima descrita, foi observada inúmeras vezes pelo autor.

Tabela 14 - Informações obtidas dos registros do pluviógrafo acoplado ao coletor plano de água de nevoeiro.

Evento	Horário (hora e minutos) e dia do registro do nevoeiro		Duração do registro	Volume de água obtido (mL)	Tipo provável de nevoeiro
	Início	Fim			
28/08 a 29/08/10	01 h 23 min 29/08	08 h 17 min 29/08	06 h 54 min	115,0	radiação
03/11 a 04/11/10	15 h 12 min 03/11	16 h 05 min 03/11	00 h 53 min	75,0	orográfico
	22 h 42 min 03/11	07 h 15 min 04/11	08 h 33 min	195,0	radiação
04/11 a 05/11/10	23 h 45 min 04/11	03 h 14 min 05/11	02 h 29 min	95,0	radiação
18/11 a 19/11/10	15 h 24 min 18/11	18 h 36 min 18/11	03 h 00 min	65,0	orográfico
	23 h 55 min 18/11	06 h 11 min 19/11	05 h 16 min	115,0	radiação
29/11 a 30/11/10	02 h 17 min 30/11	02 h 42 min 30/11	00 h 25 min	15,0	radiação
18/09/12 a 19/09/12	22 h 30 min 18/09	01 h 10 min 19/09	02 h 40 min	40,0	radiação
01/10/12 a 02/10/12	21 h 50 min 01/10	07 h 21 min 02/10	09 h 31 min	55,0	radiação
02/10/12 a 03/10/12	22 h 42 min 02/10	06 h 12 min 03/10	07 h 30 min	150,0	radiação
03/10/12 a 04/10/12	22 h 16 min 03/10	06 h 33 min 04/10	08 h 17 min	140,0	radiação
08/10/12 a 09/10/12	20 h 52 min 08/10	00 h 56 min 09/10	04 h 04 min	75,0	radiação
09/10/12 a 10/10/12	21 h 01 min 09/10	21 h 49 min 09/10	00 h 48 min	15,0	radiação

continua

continuação

Evento	Horário (hora e minutos) e dia do registro do nevoeiro		Duração do registro	Volume de água obtido (mL)	Tipo provável de nevoeiro
	Início	Fim			
15/10/12 a 16/10/12	00 h 43 min 16/10	06 h 17 min 16/10	05 h 34 min	85,0	radiação
16/10/12 a 17/10/12	22 h 36 min 16/10	04 h 19 min 17/10	05 h 43 min	75,0	radiação
07/11/12 a 08/11/12	13 h 27 min 07/11	16 h 05 min 08/11	02 h 38 min	150,0	orográfico
	01 h 58 min 08/11	07 h 20 min 08/11	05 h 18 min	60,0	radiação
21/11/12 a 22/11/12	21 h 33 min 21/11	06 h 57 min 22/11	09 h 24 min	65,0	radiação
22/11/12 a 23/11/12	15 h 31 min 22/11	-	02 h 50 min*	5,0	orográfico
	23 h 19 min 22/11	08 h 15 min 23/11	09 h 00 min	205,0	radiação

* Duração do nevoeiro obtida de observação visual feita no campo pelo autor.

A despeito da grande ocorrência dos nevoeiros de radiação no L.H.F.W.E., as quantidades de água deles captadas pelo coletor de nevoeiro foram reduzidas, mesmo os eventos sendo de longa duração (Tabela14). Isso está relacionado ao fato de que esse tipo de nevoeiro ocorre sob ventos calmos ou brandos, resultando em volumes de água pouco significativos, conforme observado por Cereceda et al. (2002).

Quanto aos nevoeiros orográficos, que também apresentaram taxas reduzidas de coleta (Tabela 14), ao menos dois fatores devem estar contribuindo para os resultados encontrados: a curta duração dos episódios de nevoeiro e a reduzida velocidade do vento quando os mesmos ocorrem.

Apurou-se da rotina de observações de campo feitas no L.H.F.W.E. que os nevoeiros orográficos tendem a se dissipar rapidamente. Ocorrem eventos que prolongam-se por horas, porém eles são pouco comuns. Os registros dos nevoeiros orográficos apresentados na Tabela14 foram de curta duração, variando de poucos minutos a não mais do que três horas. Eles são pouco expressivos quando comparados aos assinalados em regiões onde esse fenômeno climático assume grande importância hidrológica. Por exemplo, no Parque Rural Teno, nas Ilhas

Canárias, registros dessa natureza feitos com coletor retangular de $1m^2$ e malha com cobertura de 35% e 65% tiveram, geralmente, entre duas e cinco horas consecutivas de coleta. Porém, episódios mais duradouros foram frequentes, com dez, quinze, vinte horas seguidas, sendo o mais longo de aproximadamente três dias (68 horas initerruptas). Na África do Sul, em coletas de água de nevoeiro feitas com coletor retangular de $1m^2$ e malha coletora de carbono impregnada de polipropileno, houve registros com duração inferior a três horas e, também, superiores à 25 horas. Cerca de 40% dos eventos duraram entre dez e vinte e cinco horas (LOUW; VAN HEERDEN; OLIVIER, 1998). Nas Montanhas Luquillo, em Porto Rico, a duração dos registros de dois coletores retangulares de 0,5 m x 0,5 m, com a superfície de um deles de linha de poliamida e a do outro de malha de polipropileno, foi em média, de dezesseis horas (HOLWERDA; BRUIJNZEEL; SCATENA, 2010).

Os coletores passivos necessitam de vento para capturar água de nevoeiro, pois o fluxo de ar move as gotículas de água em direção à superfície coletora. Embora sob baixa ventilação possa haver coleta, as taxas são menores do que as obtidas sob ventos mais intensos. Isso é claramente demonstrado pelos resultados obtidos por Schemenauer e Joe (1989), em estudo sobre a eficiência de coleta de água por um coletor plano retangular de malha dupla de polipropileno, no Chile. A eficiência de coleta decorrente de nevoeiros com ventos entre 2 e 8 $m.s^{-1}$ foi de 75% a 95%. Para velocidade de 1,9 $m.s^{-1}$, o rendimento caiu para 25%.

A despeito das condições ambientais distintas do ambiente chileno e de Cunha, que caracterizam os nevoeiros de cada local e, também, da não similaridade entre os materiais da superfície coletora dos equipamentos usados nas duas situações, os valores de velocidade apresentados por Schemenauer e Joe (1989) foram tomados como termo de comparação em relação aos valores obtidos no presente estudo.

Verificou-se no item referente às Condições do Vento que, no período da tarde/início da noite de dias em que houve coleta de água pelo coletor coberto com compensado, a velocidade média do vento no L.H.F.W.E. foi de 1,4 $m.s^{-1}$. Os ventos com velocidade igual ou inferior a 1,9 $m.s^{-1}$ prevaleceram sobre os demais, correspondendo a 74% do tempo. Assim, no interstício das 12 às 20 horas, quando a ocorrência dos nevoeiros orográficos em Cunha é mais provável, a intensidade

dos ventos esteve na condição de menor eficiência de coleta de água encontrada por Schemenauer e Joe (1989).

Portanto, do exposto acima, presume-se que os escassos volumes de água obtidos em Cunha advém, ao menos, da soma de três fatores: a grande ocorrência de nevoeiros de radiação, a curta duração dos episódios dos nevoeiros orográficos e a baixa intensidade dos ventos na região.

5.5 Potencial de coleta de água de nevoeiros em três setores da microbacia "D"

A Tabela 15 apresenta os volumes mensais de água de nevoeiro nos três setores da microbacia "D", obtidos com os coletores cobertos com placa de compensado. A ineficácia de coleta de água por esse tipo de coletor, comentada no item sobre o desempenho dos equipamentos, foi potencializada no trecho mediano (setor 2) e junto às cabeceiras (setor 3), de tal forma que nenhum volume de água foi coletado durante os seis meses de medições realizadas nos dois locais. No exutório da microbacia (setor 1), por sua vez, somente em julho de 2010 não houve coletas. Foram feitas 43 medições durante o ano (Figura 52). As quantidades de água foram muito variáveis; de 1 a 1.800,1 $mL.m^{-2}$ e o valor médio diário foi calculado em 16,5 $mL.m^{-2}.d^{-1}$ (0,016 $L.m^{-2}.d^{-1}$).

Tabela 15 - Taxas mensais de coleta de água de nevoeiro obtidas nos coletores cilíndricos cobertos com placa de compensado, instalados nos setores 1, 2 e 3 da microbacia “D”.

Mês	$mL.m^{-2}.mês^{-1}$		
	Setor 1	Setor 2	Setor 3
Outubro de 2009	291,8	-	-
Novembro de 2009	358,2	-	-
Dezembro de 2009	363,6	-	-
Janeiro de 2010	33,6	-	-
Fevereiro de 2010	2096,4	-	-
Março de 2010	48,2	-	-
Abril de 2010	190,0	0	0
Maio de 2010	52,7	0	0
Junho de 2010	40,0	0	0
Julho de 2010	0	0	0
Agosto de 2010	227,3	0	0
Setembro de 2010	85,5	0	0

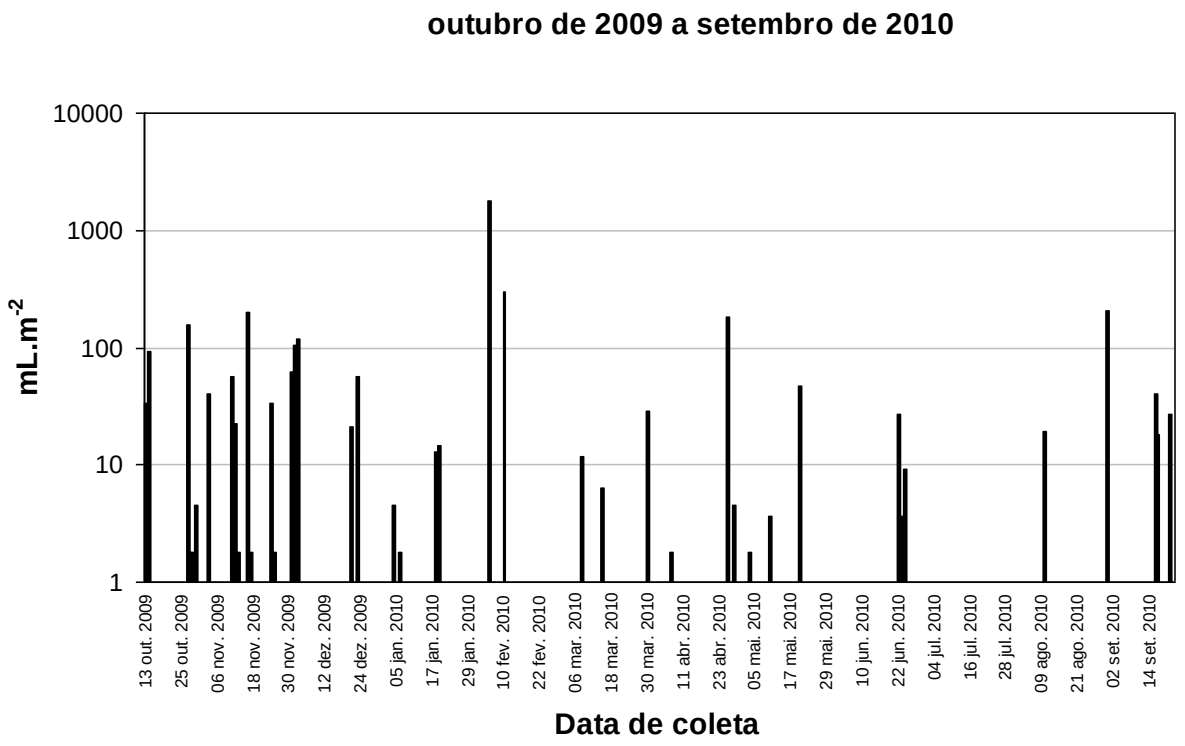


Figura 52. Volume de água de nevoeiro coletado no setor 1 da microbacia “D”, obtido com coletor cilíndrico coberto com compensado, no período de outubro de 2009 a setembro de 2010.

Os coletores planos captaram água nos três setores da microbacia (Figura 53). Um resumo estatístico das quantidades de coleta nos eventos de nevoeiro sem chuva é apresentado na Tabela 16. Houve grande variabilidade dos volumes coletados, sendo o menor coeficiente de variação superior a 100%.

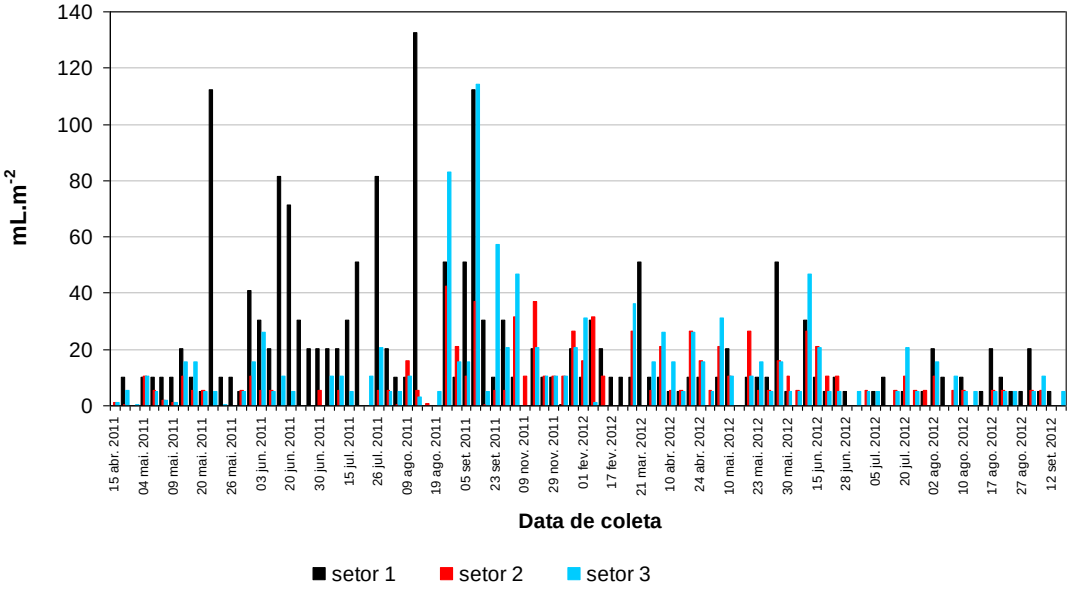


Figura 53. Volume de água de nevoeiro coletado nos setores 1, 2 e 3 da microbacia “D”, obtido com coletores planos nos eventos sem chuva, no período de abril de 2011 a agosto de 2012.

Tabela 16 - Resumo estatístico referente aos dados de volume de água de nevoeiro obtidos com coletor plano nos setores 1, 2 e 3 da microbacia “D”.

Descritor	Setor da microbacia “D”		
	1	2	3
N° de coletas	98	98	98
Média ($mL.m^{-2}$)	18,4	8,0	11,5
Amplitude ($mL.m^{-2}$)	0,5 – 132,7	0,2 – 42,3	0,4 – 114,3
Desvio padrão	24,7	9,7	16,8
Coeficiente de variação	134,2%	121,2%	146,4%

Na Tabela 17, o resultado do R-ANOVA mostra que houve diferença estatística significativa nas médias de coleta de água de nevoeiro entre os setores, com 5% de significância (P<0,0401). O teste de comparações múltiplas de Tukey (5% de significância) indica que só houve diferença significativa entre as médias dos setores 1 e 2 (Tabela 18).

Tabela 17 – Análise da Variância do Ranking dos volumes de coleta nos coletores de água de nevoeiro nos três setores da microbacia “D”.

CV	GL	Valor F	Prob > F
Setor	2	3,25	0,0401
Resíduo	291		
Total	293		

Tabela 18 – Resultado do teste de comparações múltiplas de Tukey, a 5% de significância, para médias do ranking dos volumes de coleta de água de nevoeiro nos três setores da microbacia “D”.

Setor da microbacia “D”	Média	
1	164,62	**a**
3	142,56	**ab**
2	135,32	**b**

Obs: médias com a mesma letra indicam que não houve diferença significativa.

Como demonstrado anteriormente, os episódios de nevoeiro foram mais frequentes nos setores de maior cota altimétrica da microbacia “D”, decrescendo de montante para jusante. Era esperado, portanto, que os volumes de água coletados nos setores 2 e 3 fossem elevados e maiores que no setor 1, o que não se confirmou. Os coletores foram instalados em clareiras no interior da floresta, à 2,5 metros do solo, em conformidade com o sugerido pela literatura, que recomenda uma altura padrão entre 2 e 3 metros (SCHEMENAUER; CERECEDA, 1994; BRUIJNZEEL, 2001). Com certeza, as árvores situadas nas proximidades dos coletores dos setores 2 e 3 funcionaram como barreira à livre circulação dos nevoeiros orográficos, pois a captação de água é fortemente influenciada pela posição do equipamento em relação à obstáculos vizinhos (BRUIJNZEEL, 2001).

Em florestas, para evitar interferências das árvores, alguns autores optam por instalar os coletores no topo do dossel ou acima desse, usando torres como suporte dos equipamentos (SCHEMENAUER; CERECEDA, 1994; BENDIX; FABIAN; ROLLENBECK, 2004).

Um fator que contribuiu para que no setor 1 o coletor tenha captado volumes de água maiores que no setor 2 e da mesma ordem de grandeza que no setor 3, está relacionado ao fato de que no exutório da microbacia é comum, além dos nevoeiros orográficos, a ocorrência de nevoeiros de radiação, como mencionado anteriormente. Nos setores mais elevados da microbacia “D” esse tipo de nevoeiro raramente foi observado.

Há que destacar, ainda, que as quantidades de água coletadas no setor 1 foram menores que as medidas na estação meteorológica, que está localizada a apenas 200 metros de distância e, praticamente, na mesma altitude. Entre os coletores cobertos a proporção de coleta foi de 5,5 para 1 e entre os coletores planos a proporção foi de 12,5 para 1. Isso ocorre porque a estação meteorológica encontra-se em uma planície ampla, que recebe os nevoeiros oriundos da microbacia “D” e, também, de outras direções. Soma-se a isso, o fato de que não há obstáculos físicos que possam interferir na trajetória dos nevoeiros. Quanto ao setor 1, está localizado em um vale menos aberto, por onde se dá o fluxo principal dos nevoeiros, provenientes das partes mais elevadas da microbacia “D”. Além disso, esse setor está “protegido” por árvores de eucaliptos e de pinus, que fazem parte de outra área experimental do L.H.F.W.E. As árvores, de grande porte, interceptam parte da água dos nevoeiros que chegam ao local, oriundos de outras direções, podendo também, alterar a trajetória dos mesmos, culminando em um menor potencial de coleta de água que na estação meteorológica.

5.6 Estimativa da precipitação oculta na floresta

Durante a amostragem da transprecipitação e do escoamento pelo tronco foram feitas 174 coletas, das quais 52 na ausência de chuva e 122 com ela. Foram descartadas 10 coletas devido à perda de dados em pelo menos um dos

pluviômetros usados para determinar a precipitação sob o dossel, ou em algum dos coletores de água de escoamento pelo tronco.

A precipitação pluviométrica medida na estação meteorológica, no período de outubro de 2009 a setembro de 2010, totalizou 2727,4 mm, suplantando a média histórica de 30 anos de registros, que contabilizou 2011,0 mm. Episódios extremos de chuva ocorreram em outubro e dezembro de 2009, muito superiores à média (Figura 54). A maior parte das coletas descartadas incidiu nesses dois meses. No restante do ano a precipitação foi muito próxima aos valores médios de cada mês.

Desconsiderados os dados dos eventos extremos descartados no estudo, a precipitação pluviométrica total para efeito de contabilização dos cálculos é de 1870,7 mm.

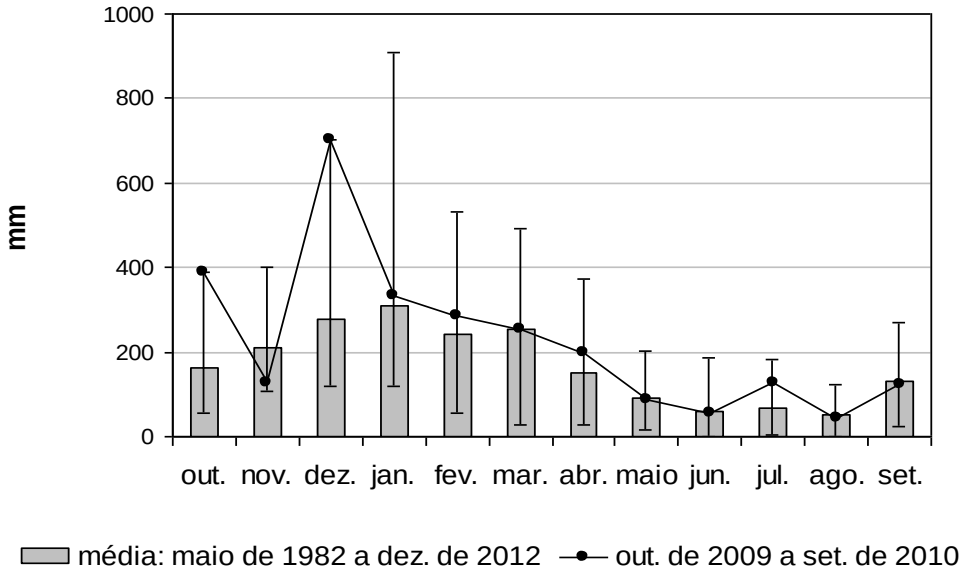


Figura 54. Precipitação pluviométrica durante a pesquisa e média mensal e amplitudes da precipitação no período de 1982 a 2012.

5.6.1 Precipitação oculta quando houve apenas nevoeiro

Quando houve apenas nevoeiro, o aporte de água na microbacia “D” via precipitação oculta na floresta mostrou-se inexpressivo. O máximo valor alcançado por evento foi inferior a 0,5 mm (Figura 55). A soma das quantidades de água obtidas dos 52 eventos totalizou 2,3 mm, que corresponde à somente 0,12% da precipitação pluviométrica no período (1870,7 mm).

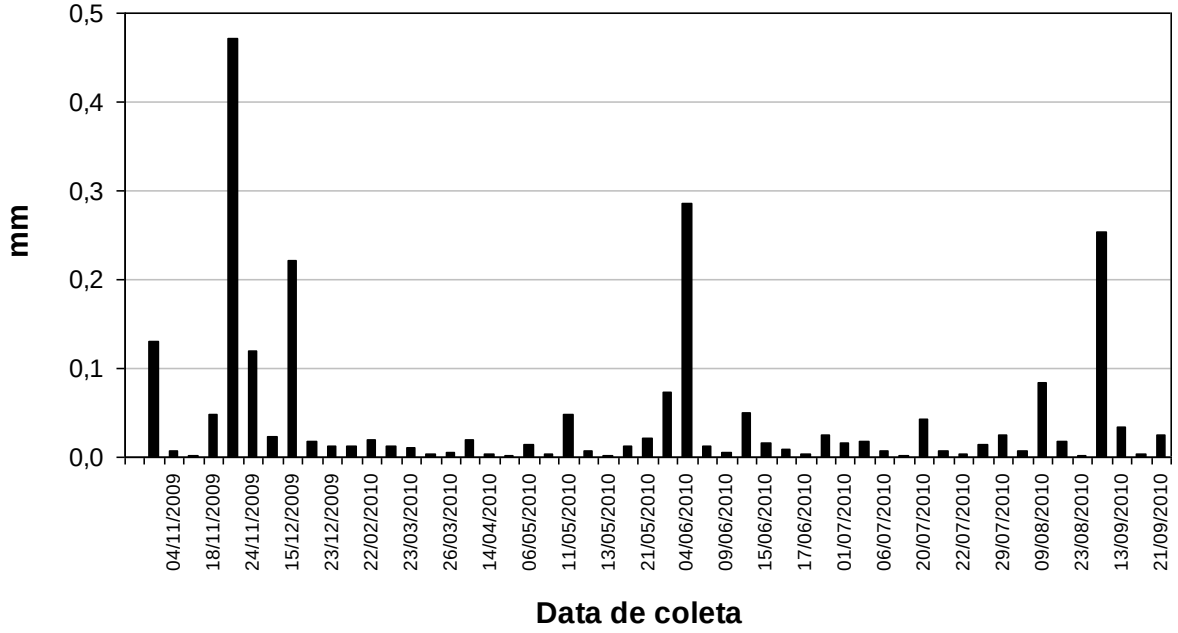


Figura 55. Precipitação oculta na floresta na microbacia “D” quando houve apenas nevoeiro.

A transprecipitação foi a principal via de chegada da água ao piso florestal (Figura 56), corroborando informação de que os troncos interceptam muito menos água que as folhas, devido a sua menor eficiência de impacto sobre o nevoeiro, a menor superfície total e sua posição abrigada no interior do dossel (SHUTTLEWORTH[10], 1977, apud HOLWERDA; BRUIJNZEEL; SCATENA, 2010).

[10]SHUTTLEWORTH, W. J. The exchange of wind-driven fog and mist between vegetation and the atmosphere. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 22, p. 463 – 489, 1977.

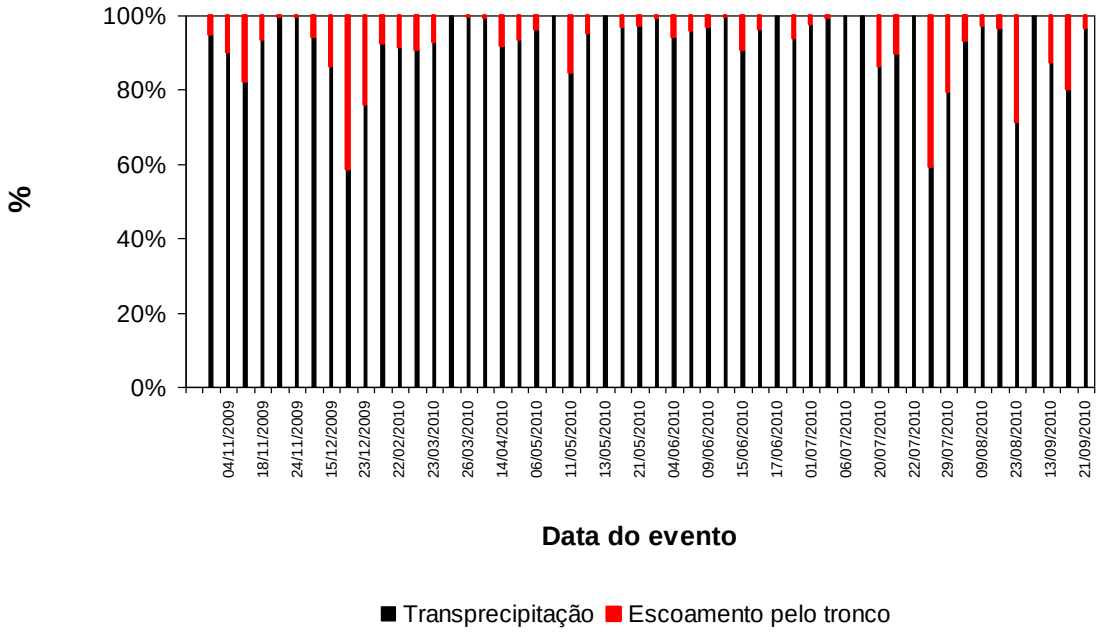


Figura 56. Percentual de contribuição da transprecipitação e do escoamento pelo tronco para a precipitação oculta nos eventos de nevoeiro sem chuva.

A transprecipitação medida nos 50 pontos de instalação dos pluviômetros na parcela experimental foi reduzida, sendo o máximo valor obtido de apenas 2,2 mm (Figura 57). A variabilidade da transprecipitação em cada posição foi elevada, como indicam os expressivos coeficientes de variação (Tabela19).

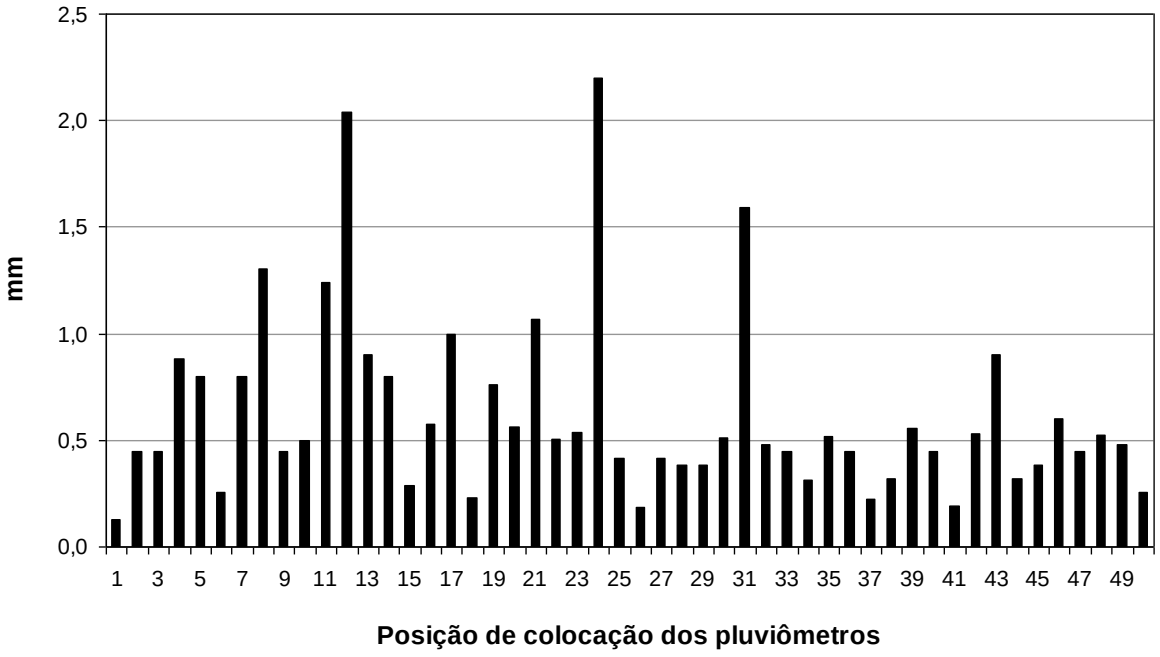


Figura 57. Valor máximo de transprecipitação obtido nas 50 posições de colocação dos pluviômetros na parcela para determinação da precipitação oculta na microbacia “D”, quando houve apenas nevoeiro.

Tabela 19 - Coeficiente de variação da transprecipitação nas 50 posições possíveis de colocação dos pluviômetros e do escoamento pelo tronco nas 10 árvores amostradas na parcela para determinação da precipitação oculta na microbacia “D”.

Posição do pluviômetro	Coeficiente de variação (%)	N° da árvore	Coeficiente de variação (%)
1	136,9	1	215,7
2	160,6	2	203,9
3	214,8	3	475,6
4	184,2	4	161,8
5	227,8	5	112,7
6	165,3	6	158,7
7	219,6	7	114,1
8	225,8	8	227,8
9	197,9	9	109,9
10	209,8	10	182,6
11	247,9	-	-
12	288,0	-	-
13	271,5	-	-
14	243.4	-	-
15	189,3	-	-
16	213,7	-	-
17	209,9	-	-
18	153,2	-	-
19	197,3	-	-
20	204,6	-	-
21	239,9	-	-
22	189,6	-	-
23	228,0	-	-
24	268,6	-	-
25	187,0	-	-
26	143,7	-	-
27	183,4	-	-
28	176,8	-	-
29	170,3	-	-
30	203,4	-	-
31	295,5	-	-
32	176,6	-	-
33	207,7	-	-
34	210,6	-	-
35	203,9	-	-
36	199,5	-	-
37	179,3	-	-
38	190,6	-	-
39	165,1	-	-
40	174,7	-	-
41	130,2	-	-

continua

continuação

Posição do pluviômetro	Coeficiente de variação (%)	N° da árvore	Coeficiente de variação (%)
42	210,9	-	-
43	198,2	-	-
44	174,3	-	-
45	186,4	-	-
46	219,4	-	-
47	251,7	-	-
48	182,3	-	-
49	234,8	-	-
50	159,6	-	-

A variabilidade espacial da transprecipitação também foi alta, fato que pode ser exemplificado com os gráficos da Figura 58, que representam os valores de transprecipitação medidos em 25 das 50 posições possíveis para colocação dos pluviômetros, em três eventos selecionados aleatoriamente. O emprego de 25 aparelhos, número intermediário entre 20 e 30, recomendado para amostragem desse processo em florestas tropicais (BRUIJNZEEL; EUGSTER; BURKARD, 2005), bem como a realocação dos pluviômetros no interior da parcela, contribuíram para uma ampla amostragem da transprecipitação.

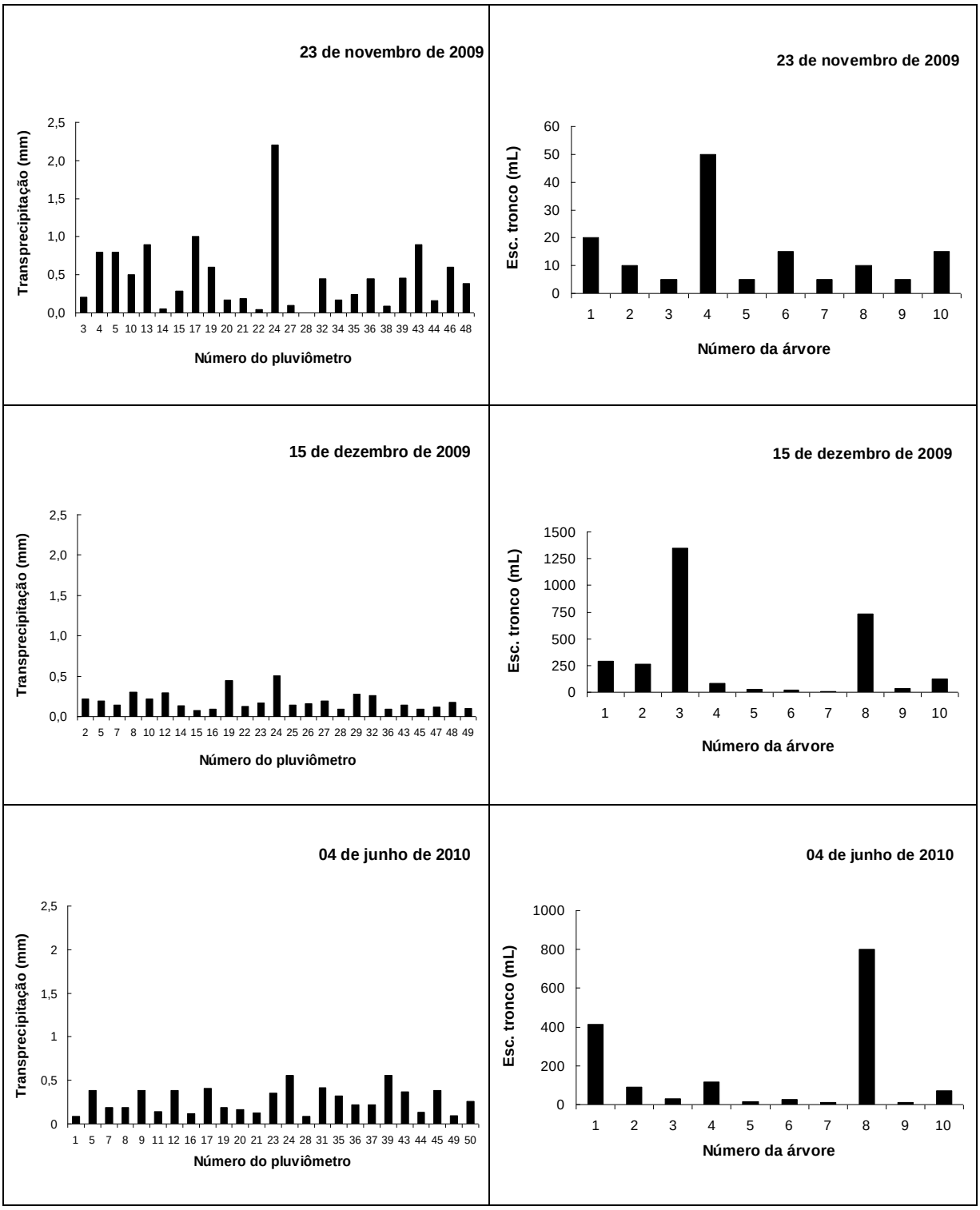


Figura 58. Variação da transprecipitação e do escoamento pelo tronco nos dias 23/11/2009, 15/12/2009 e 04/06/2010, quando houve apenas nevoeiro.

As árvores de diferentes espécies, altura e diâmetro do tronco propiciaram grande amplitude dos valores de escoamento pelo tronco, sendo o volume máximo coletado de apenas 1345 mL (Figura 59). A variabilidade desse processo em cada

árvore amostrada também foi elevada (Tabela 19), o mesmo ocorrendo com a distribuição espacial (Figura 58).

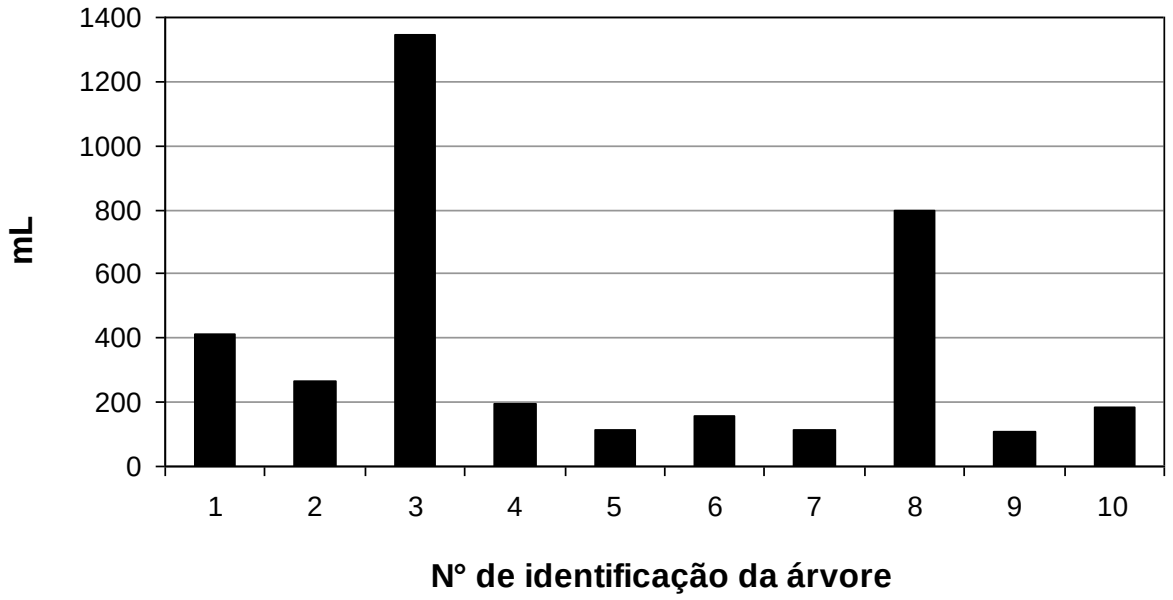


Figura 59. Volume máximo de escoamento pelo tronco obtido em cada uma das 10 árvores amostradas da parcela para determinação da precipitação oculta na microbacia "D", quando houve apenas nevoeiro.

Os valores de precipitação oculta na microbacia "D" quando houve apenas nevoeiro, são muito inferiores aos determinados em outras localidades. Na floresta nebular da Reserva Biológica de Cerro Uyuca, em Honduras, Stadtmuller e Agudelo (1990) obtiveram 59,6 mm de precipitação oculta nos dias sem chuva, significando um '"*input*" de 4% da precipitação pluviométrica anual. Na Jamaica, em duas localidades estudadas da floresta tropical montana, a interceptação da água de nevoeiro na ausência de chuva variou de 31 mm (1,4%) a 93 mm (3,4%) (HAFKENSCHEID et al., 2002). Na floresta tropical sazonal de Xishuangbanna, na China, a precipitação oculta foi de 84,4 mm ao ano, representando 5% da precipitação incidente (LIU et al., 2008). Por outro lado, os resultados da microbacia "D" suplantaram os obtidos na floresta nebular Central Veracruz, uma vez que nesse sítio localizado no México, nenhum dos eventos de nevoeiro gerou precipitação oculta (HOLWERDA et al., 2010b).

Na ausência de chuva, o nevoeiro constitui-se na fonte de molhamento das folhas e a transprecipitação só ocorre quando a quantidade de água armazenada pelas gotículas é suficiente para atingir a chamada capacidade de saturação da

copa (capacidade de armazenamento da copa, capacidade de retenção da copa). Para que esta seja alcançada, a floresta deve permanecer sob nevoa por tempo prolongado. Por exemplo, na floresta nebular elfin, em Porto Rico, caracterizada por nevoeiros densos, de longa duração – entre 15 e 16 horas e ventos fortes (4 a 5 $m.s^{-1}$), o princípio do gotejamento induzido apenas por nevoeiro se deu, em média, 5 horas após o início do evento. Este tempo, reflete o preenchimento da capacidade de armazenamento do dossel, estimado em 0,4 mm (HOLWERDA; BRUIJNZEEL; SCATENA, 2010).

A partir dos dados de precipitação pluviométrica e da transprecipitação, a capacidade de armazenamento do dossel da parcela de precipitação efetiva na microbacia “D” foi estimada, empregando método detalhado em Pineda (2008). O valor obtido foi de 0,78 mm, isto é, o dobro do valor da floresta elfin de Porto Rico. Como em Cunha os episódios de nevoeiro geralmente são de curta duração e a velocidade dos ventos é reduzida, é necessário um tempo muito longo para completar a capacidade de armazenamento, presumidamente superior ao verificado por Holwerda, Bruijnzeel e Scatena (2010). Assim, o estado de saturação das folhas e dos ramos das árvores durante os nevoeiros é atingido apenas em eventos excepcionais, sendo essa é uma explicação plausível para os valores inexpressivos de precipitação oculta registrados na microbacia “D” quando da ausência de chuva.

5.6.2 Precipitação oculta estimada pelo módulo da interceptação negativa

Entre outubro de 2009 e setembro de 2010, o percentual da precipitação efetiva frente à precipitação pluviométrica foi, em média, de 85,27% (Tabela 20). Esse valor é da mesma ordem de grandeza dos resultados de outros dois estudos realizados no L.H.F.W.E. Na mesma microbacia “D”, porém em vertente com orientação oposta ao da presente pesquisa, Cicco et al. (1986/1988) determinaram precipitação efetiva média de 81,8%. Na microbacia experimental “B”, com mesmo tipo de vegetação, Arcova, Cicco e Rocha (2003) obtiveram 81,4%.

Os percentuais obtidos nesse e nos demais estudos desenvolvidos no L.H.F.W.E. se inserem na faixa de variação de precipitação efetiva das florestas

montanas de baixa altitude sob influência moderada de nevoeiros, que é de 80% a 101%, com média de 92% (BRUIJNZEEL, 2001).

Tabela 20 - Precipitação pluviométrica e a quantidade e o percentual de transprecipitação, escoamento pelo tronco e precipitação efetiva na microbacia “D”.

Precipitação pluviométrica (mm)	Transprecipitação		Escoamento pelo tronco		Precipitação efetiva	
	mm	%	mm	%	mm	%
1870,7	1568,7	83,86	26,5	1,41	1595,2	85,27

Quando a precipitação efetiva no interior da floresta é maior que a precipitação pluviométrica em área aberta, ocorre a chamada interceptação negativa. Nos ambientes de floresta nebular ela pode ser derivada da captação da água de nevoeiro, isto é, a precipitação oculta. Na microbacia “D” essa situação foi registrada em apenas 5 coletas. Os resultados se assemelham aos obtidos por Cavelier et al. (1997) em uma floresta nebular montana da Cordilheira Central do Panamá. Os autores verificaram que de 140 eventos de chuva, somente 6 tiveram interceptação negativa e deduziram que a precipitação oculta não é uma importante fonte de água para a floresta.

A precipitação oculta, calculada a partir do módulo da diferença entre a precipitação pluviométrica e a precipitação efetiva (equação 6), gerou um total de 5,1 mm de água adicional ao piso da floresta da microbacia “D”. Esse valor representa 0,27% da precipitação pluviométrica total. Ele se alinha ao valor de 0,52% obtido por Cicco (2009) no estudo da redistribuição da água das chuvas pela floresta na microbacia “B”, quando de um total de 126 coletas, sete tiveram interceptação negativa, somando 38,3 mm em um período aproximado de quatro anos e dois meses.

Gomez-Peralta et al. (2008), usando mesmo procedimento para a avaliação da precipitação oculta em floresta tropical montana nos Andes Peruano, obtiveram percentual pouco maior ao determinado em Cunha, isto é, 0,8% (21 mm). Em relação a outros estudos, os valores alcançados na microbacia “D” são expressivamente menores. Calculando a diferença entre a precipitação pluviométrica

em área aberta e a transprecipitação em uma floresta nebular montana na Guatemala, Holder (2004) verificou que a interceptação da água de nevoeiro contribui com aproximadamente 1 $mm.d^{-1}$ na estação seca e 0,5 $mm.d^{-1}$ na estação úmida. Considerando um valor médio de 0,75 $mm.d^{-1}$, pode-se estimar que um total de 273 $mm.ano^{-1}$ alcançou o piso da floresta na forma de precipitação oculta, que corresponde a 10,7% da chuva (2559 mm). Na Ilha da Madeira, no local denominado Urzal da Substituição, a associação vegetal *Vaccinio padiofolli – Ericentum maderinicola* gerou uma precipitação oculta de 153,4 mm, significando 13% da precipitação pluviométrica registrada em 394 dias amostrados (FIGUEIRA et al, 2006). Em outro setor da mesma ilha, sob vegetação de *Erica arborea*, a precipitação oculta correspondeu a 190% da precipitação total (PRADA et al, 2012).

Embora obtidos a partir de um grande número de pluviômetros, que foram realocados semanalmente e com grande rigor nas medições feitas pelos técnicos de do L.H.F.W.E., os resultados alcançados na microbacia “D”, mesmo sendo reduzidos, devem ser vistos com cautela. Em que pese o fato de que o procedimento de calcular a precipitação oculta pelo módulo da interceptação negativa seja bastante utilizado em ambientes com influencia de nevoeiros, estudos realizados em florestas tropicais onde esse fenômeno meteorológico não é freqüente, igualmente registraram interceptação negativa. Lloyd e Marques Filho (1988) constataram que a transprecipitação foi maior que a precipitação incidente em 29% dos 494 pontos de recolocação dos coletores em floresta amazônica de terra firme, em Manaus. Como resultado a precipitação efetiva foi elevada, correspondendo a 92,8% da precipitação pluviométrica. Em outro sítio, também com floresta amazônica de terra firme, Germer, Elsenbeer e Moraes (2006) averiguaram que 25 das 97 coletas realizadas tiveram interceptação menor que zero, correspondendo a 7,3% (95 mm) da precipitação pluviométrica (1307,9 mm).

Assim, as considerações explicitadas por Veneklaas e Van Ek (1990), a respeito de fatores que podem influenciar os resultados obtidos com essa metodologia, não devem ser totalmente rejeitadas no presente estudo.

5.6.3 Precipitação oculta estimada pelo método descrito por McJannet e Wallace (2006)

A representação da relação entre os dados de precipitação pluviométrica e a precipitação efetiva na floresta da microbacia “D” é mostrada nos diagramas de dispersão da Figura 60. No gráfico “a” estão todos os eventos coletados no ano. No gráfico “b” é apresentada a mesma relação, porém foram excluídos 10 pontos provenientes de coletas com acúmulo de água de vários dias de chuva. Em ambientes onde a precipitação oculta é uma fonte adicional de água, essa relação apresenta grande dispersão dos pontos, pois a precipitação pluviométrica não é o único processo responsável pela entrada de água na floresta (MCJANNET; WALLACE, 2006). Isto não acontece com os dados obtidos na microbacia “D”. De fato, nos dois diagramas, os pontos concentram-se numa estreita “nuvem”, indicando que há um forte grau de relacionamento entre as duas precipitações. No entanto, isso não ocorre quando, além das chuvas, há também contribuição significativa da entrada de água via nevoeiros.

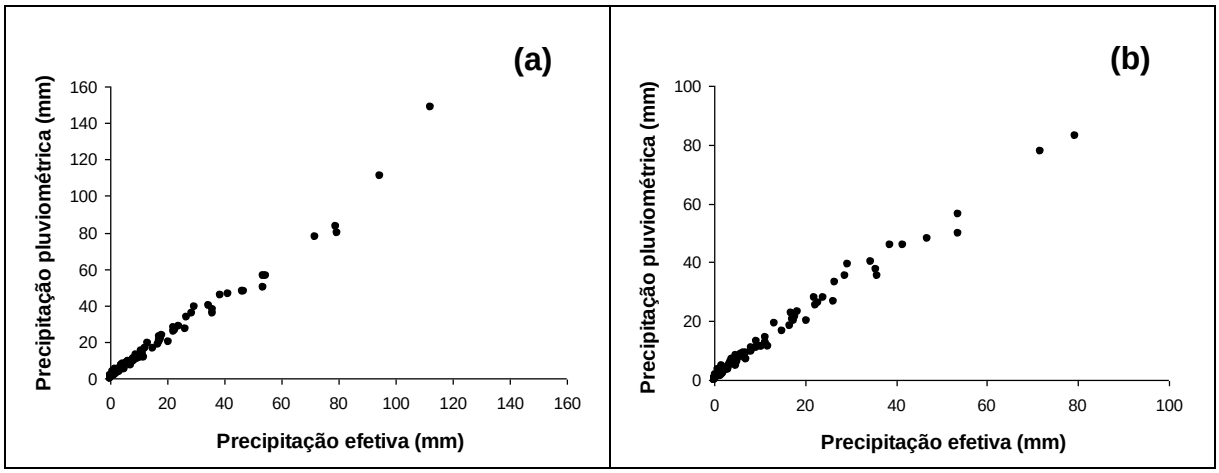


Figura 60. Relação entre a precipitação pluviométrica e a precipitação efetiva na microbacia “D”. (a) todos os eventos coletados; (b) foram excluídos 10 pontos provenientes de eventos decorrentes de vários dias de chuva.

A Figura 61 mostra os mesmos diagramas de dispersão dos pontos, mas com os dados separados em dois grupos. Um como conjunto de eventos de chuva que ocorrem quando há nevoeiro (pontos vermelhos) e o outro com eventos de chuva

sem a presença de nevoeiro (pontos pretos). Foram excluídos os pontos cuja precipitação pluviométrica é inferior a 1 mm, valor pouco superior ao da capacidade de armazenamento da copa, estimado em 0,78 mm, já mencionado no início desse item.

Os dois grupos de dados foram submetidos à análise de regressão linear simples, porém foram transformados na forma logarítmica dos (dados+1), em função da análise de resíduos indicar essa necessidade, a fim de satisfazer os pressupostos para uso da regressão linear. As relações obtidas entre a precipitação pluviométrica e a precipitação efetiva são muito fortes para ambos os grupos de dados, com o menor coeficiente de determinação (R^2) bastante elevado, isto é, 0,9621.

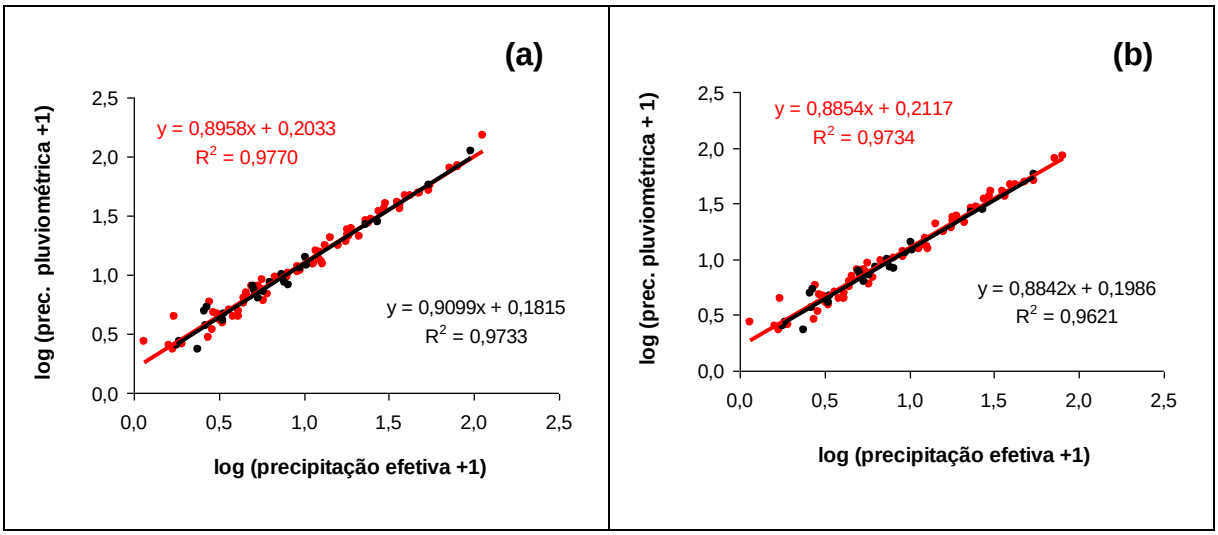


Figura 61. Regressões relacionando log (precip. pluviométrica +1) e o log (precip. efetiva +1). Em vermelho: chuva e nevoeiro; em preto: apenas chuva. (a) gráfico com todos os eventos; (b) gráfico excluídos 10 pontos de eventos oriundos de vários dias de chuva.

As duas equações resultantes de todos os eventos coletados e as equações obtidas com 10 pontos excluídos, foram submetidas ao teste de comparação de regressões do pacote estatístico BioEstat 5.0, desenvolvido por Ayres et al. (2007). Os resultados, resumidos na Tabela 21, indicam que para as duas situações as equações não diferem ao nível de significância de 0,05. Assim, não há coerência em aplicar as equações y=0,9099x + 0,1815 e y=0,8842x + 0,1986 para estimar a precipitação oculta na microbacia “D”, pois os resultados não teriam sentido do ponto de vista estatístico, como enfatizado por Hafkenscheid (2000). Dessa forma, o

método proposto por McJannet e Wallace (2006) não se mostra aplicável às condições da microbacia “D”. Em locais onde a contribuição dos nevoeiros para entrada de água na floresta não ocorre ou é reduzida, o que indica ser o caso de Cunha, esse método pode ser ineficaz para determinação da precipitação oculta, como afirmado por Bruijnzeel (2001) e Bruijnzeel, Eugster e Burkard (2005).

Tabela 21 - Resultados das comparações das regressões lineares entre a precipitação pluviométrica e a precipitação efetiva para as condições de chuva com nevoeiro e chuva sem nevoeiro.

Resultados	Equações com todos os pontos		Equações com 10 pontos excluídos	
	y=0,8958x+0,2033	y=0,9099x+0,1815	y=0,8854x+0,2117	y=0,8842x+0,1986
N° de pontos	70	23	62	21
Coef. regressão	0,8958	0,9099	0,8854	0,8842
Intercepto	0,2033	0,1815	0,2117	0,1986
Teste t, coefs. regressão	-0,3937	-	0,0299	-
gl	89	-	80	-
p-valor	0,6947	-	0,9762	-
Teste t, Interceptos	0,5736	-	0,8291	-
gl	90	-	81	-
p-valor	0,5677	-	0,4094	-

Observação: y é o logaritmo da (precipitação pluviométrica +1); x é o logaritmo da (precipitação efetiva +1).

Os inexpressivos valores de precipitação oculta obtidos, tanto para eventos de nevoeiros com chuva, quanto para os episódios sem ocorrência de precipitação pluviométrica, assim como o fato do método descrito por McJannet e Wallace (2006) não se aplicar à microbacia “D”, devem-se às condições desfavoráveis mencionadas no item referente ao potencial hidrológico dos nevoeiros no L.H.F.W.E., isto é, a pouca duração dos episódios de nevoeiro orográfico e a reduzida velocidade dos ventos no local. Esses estão entre os fatores arrolados por Bruijnzeel, Eugster e Burkard (2005) que controlam a deposição da água de nevoeiro pela vegetação.

Também influenciam o processo, as condições da topografia. As florestas situadas em vertentes a barlavento tendem a receber mais nevoeiro que a sotavento, como constatado por Cavelier e Goldstein (1989) e Blás et al. (2002). Assim, aliada aos fatores duração dos episódios de nevoeiro e velocidade dos ventos, deve ser considerada a disposição em que se encontra a microbacia “D” em relação aos fluxos principais dos nevoeiros, isto é, de sotavento, que não é a mais propícia para a geração de precipitação oculta.

6 CONCLUSÕES

Entre outubro de 2009 e dezembro de 2012, foi realizado estudo no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich para avaliar o potencial hidrológico dos nevoeiros e a precipitação oculta em ambiente de Floresta Ombrófila Densa Montana, na Serra do Mar, no município de Cunha, SP.

Sobre o desempenho dos coletores de água de nevoeiro, concluiu-se:

- a alternativa de cobrir o coletor cilíndrico com placa de compensado foi eficiente na obstrução das chuvas convencionais, mas não o foi para as chuvas e garoas dirigidas pelo vento, de intensidade reduzida e que se movem quase horizontalmente, comuns no L.H.F.W.E. A cobertura cônica de chapa galvanizada não impediu a entrada de água pluvial no coletor cilíndrico;

- a cobertura instalada nos coletores interferiu nas coletas da água de nevoeiro. Os volumes captados no coletor protegido por compensado foram menores que no dispositivo com cobertura cônica;

- as médias de coletas diferiram entre coletores, exceto entre o cilíndrico descoberto e o plano, que interceptaram maiores volumes de água; e

- o coletor plano foi o único a reter água em todos os eventos amostrados.

Com relação ao potencial hidrológico dos nevoeiros no L.H.F.W.E., concluiu-se:

- houve coleta de água de nevoeiro ao longo das quatro estações do ano, porém os maiores volumes incidiram no outono e inverno;

- as taxas de coleta foram reduzidas, com valores médios de 290,5 $mL.m^{-2}.d^{-1}$ para o coletor cilíndrico descoberto; e

- os escassos volumes de água obtidos resultaram da combinação de ao menos três fatores: a grande ocorrência de nevoeiros de radiação, a curta duração dos episódios dos nevoeiros orográficos e a baixa intensidade dos ventos na região.

No que concerne ao potencial de coleta de água de nevoeiro em três setores da microbacia “D”; concluiu-se:

- árvores localizadas próximas aos coletores funcionaram como obstáculo à livre circulação dos nevoeiros orográficos, levando os equipamentos a interceptar exíguos volumes de água.

Sobre a distribuição espacial e temporal da ocorrência de nevoeiros na microbacia experimental “D”, concluiu-se:

- os nevoeiros foram mais frequentes à tarde, como resultado da brisa marítima que é mais intensa nesse período do dia;

- a primavera foi a estação do ano com maior incidência de nevoeiros; e

- para 61,3% do tempo, em média, foi observada a presença de nevoeiro em algum setor da microbacia, com a nebulosidade diminuindo de montante para jusante da área.

Á respeito da estimativa da precipitação oculta pela floresta da microbacia “D”, concluiu-se:

- a deposição de água de nevoeiro durante eventos sem chuva foi de 2,3 mm, correspondendo a 0,12% da precipitação pluviométrica total do período;

- a precipitação oculta calculada a partir do módulo da diferença entre a precipitação pluviométrica e a precipitação efetiva foi de 5,1 mm, representando 0,27% da precipitação pluviométrica;

- a análise estatística da comparação das regressões lineares entre a precipitação pluviométrica e a precipitação efetiva, para eventos de chuva com nevoeiro e eventos de chuva sem nevoeiro, indica que o método descrito por McJannet e Wallace (2006) não se aplica às condições da microbacia “D”; e

- a curta duração dos episódios de nevoeiro orográfico, a reduzida velocidade dos ventos e a disposição de sotavento em que se encontra a microbacia “D” em relação aos fluxos principais dos nevoeiros, contribuíram para os valores diminutos de precipitação oculta na floresta.

Embora os nevoeiros não apresentem potencial para fazer da precipitação oculta na floresta uma fonte adicional de água para as microbacias do Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, esse fenômeno climatológico pode constituir-se em importante fator de influência sobre as perdas evaporativas pela Floresta Ombrófila Densa Montana. A frequente ocorrência de nevoeiros pode resultar na redução da transpiração vegetal e do número de horas de luz solar e, assim, contribuir para as taxas conservativas de evapotranspiração que têm sido verificadas nos estudos sobre o balanço hídrico das três microbacias experimentais do laboratório.

Essa é uma linha de pesquisa que vem sendo desenvolvida em ambientes

nebulares e que deve ser considerada para o aprofundamento dos conhecimentos das relações entre a floresta e os processos hidrológicos nas microbacias da região de Cunha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDUL-WAHAB; S. A.; LEAE, V. Reviewing fog water collection worldwide and in Oman. **International Journal of Environmental Studies**, London, v. 65, n. 3, p. 487-500, 2008.

AGUIAR, O. T. et al. Flora fanerogâmica de um trecho da floresta densa secundária no Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha / Indaiá – Cunha (SP). **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 1-18, jun. 2001.

ALMEIDA, F. F. M. **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. São Paulo: Edusp, 1974. 99 p. (Série teses e monografias, n. 14).

AL-HASSAN, G. A. Fog water collection evaluation in Asir Region-Saudi Arabia. **Water Resources Management**, Athens, v. 23, n. 13, p. 2805-2813, Oct. 2009.

AL-JAYYOUSI, O. R.; MOHSEN, M.S. Evaluation of fog collection in Jordan. **Water and Environment Journal**, Hoboken, v. 13, n. 3, p.195-199, June 1999.

ANIDO, N. M. R. **Caracterização hidrológica de uma microbacia experimental visando identificar indicadores de monitoramento ambiental**. 2002. 69 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

ARCOVA, F. C. S. **Balanço hídrico, características do deflúvio e calibragem de duas microbacias hidrográficas na Serra do Mar, SP**. 1996. 155 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

_____.; CICCO, V. Manejo de bacias hidrográficas. In: HONDA, E. A; YAMAZOE, G. (Org.). **25 anos de cooperação JICA - Instituto Florestal**. São Paulo: Imprensa Oficial, 2005. p. 34-46.

_____.; CICCO, V.; HONDA, E. A. Características físicas das águas dos rios Paraibuna e Paraitinga, região do Alto Paraíba-SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.14, n. 1, p. 1-12, jun. 2002.

_____.; CICCO; V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das

chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 257-262, mar.–abr. 2003.

ARMANI, G. **Interações entre a atmosfera e a superfície terrestre: variações da temperatura e umidade na bacia B do Núcleo Cunha (IF) – SP**. 2004. 198 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2004.

ATAROFF, M. Water fluxes in a cloud forest of Venezuelan Andes. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON HYDROLOGY AND WATER MANAGEMENT IN THE HUMID TROPICS, 2., 1999, Cidade do Panama. **Proceedings**…Paris: IHP-V/UNESCO, 2002. p. 384-388.

ATKINSON, B. W. **Meso-scale atmospheric circulations**. London: Academic Press, 1981. 495 p.

AYRES, M. et al. **BioEstat: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas**. Versão 5.0. Belém: Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, 2007. 364 p. Disponível em: <http://mamiraua.org.br/download/index.php?dirpath=./BioEstat%205%20Portugues&order=0>. Acesso em: 08 jun. 2012.

BENDIX, J.; FABIAN, P.; ROLLENBECK, R. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF FOG, FOG COLLECTION AND DEW, 3., 2004, Cape Town. **Proceedings**…Cape Town: University of Pretoria, 2004. 4 p.

BLÁS, M. et al. Temporal and spatial variations of fog in the Western Sudetty Mts., Poland. **Atmospheric Research**, Amsterdam, v. 64, n. 1-4, p.19-28, Sept.-Oct. 2002.

BRUIJNZEEL, L. A. Hydrology of tropical montane cloud forests: a reassessment. **Land Use and Water Research**, Newcastle, v. 1, p.1.1-1.18, 2001.

_____.; HAMILTON, L. S. **Tiempo decisivo para las selvas de neblina**. Paris: UNESCO: International Hydrological Programme, 2001. 41 p. (IHP Programa Trópicos Humedos Serie nº 13).

_____.; EUGSTER, W.; BURKARD, R. Fog as hydrologic input. In: ANDERSON, M. G. (Ed.). **Encyclopedia of hydrological sciences**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005. cap. 38, p. 559-582.

BUBB, P. et al. **Cloud forest agenda**. Cambridge: PNUMA-CMVC, 2004. 32 p.

BURGESS, S. S. O.; DAWSON, T. E. The contribution of fog to the water relations of *Sequoia sempervirens* (D. Don): foliar uptake and prevention of dehydration. **Plant, Cell and Environment**, Malden, v. 27, n.8, p.1023-1034, Aug. 2004.

CARVALHO, W. A. et al. Levantamento de reconhecimento detalhado dos solos do Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha, SP (Bacia "D"). **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 2, n. 2, p.127–155, dez. 1990.

CAVELIER, J.; GOLDSTEIN, G. Mist and fog interception in elfin cloud forests in Colombia and Venezuela. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 5, n.3, p. 309-322, Aug. 1989.

_____.; SOLIS, D.; JARAMILLO, M. A. Fog interception in montane forests across the Central Cordillera of Panamá. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 12, n. 3, p. 357-369, May 1996.

_____. et al. Water balance and nutrient inputs in bulk precipitation in tropical montane cloud forest in Panamá. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.193, p. 83-96, 1997.

CERECEDA, P. et al. Advective, orographic and radiation fog in the Tarapacá region, Chile. **Atmospheric Research**, Amsterdam, v. 64, n. 1-4, p. 261-271, Sept.-Oct. 2002.

CHANEY, W. R. Sources of water. In: KOSLOWSKI, T. T. (Ed.). **Water deficits and plant growth**. Amsterdam: Academic Press, 1981, vol. 6, p. 1-47.

CICCO, V. et al. Interceptação das chuvas por floresta natural secundária de Mata Atlântica – São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v, 20/22, p. 25-30, 1986/88.

_____. **Análise de séries temporais hidrológicas em microbacia com cobertura vegetal natural de Mata Atlântica, Cunha, SP**. 2004. 124 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

_____. **Determinação da evapotranspiração pelos métodos dos balanços hídrico e de cloreto e a quantificação da interceptação das chuvas na Mata**

Atlântica: São Paulo, SP e Cunha, SP. 2009. 138 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

DOMINGUES, E. N.; MATTOS, I. F. A.; FURIAN, S. M. Geomorfologia e cobertura vegetal atual da microbacia do ribeirão do Barracão no núcleo Cunha-Parque Estadual da Serra do Mar-SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, SP, v.13, n. 2, p. 189-200, dez. 2001.

ELIAS, V.; TESAR, M. Cloud-water chemistry and estimated rates of occult deposition in a forested area of the Sumava Mts (south Bohemia, Czech Republic), In: SEUNA, P. et al. (Ed.). **FRIEND**: Flow Regimes from International Experimental and Network Data. Wallingford: International Association of Hydrological Sciences, 1994. p. 417-423. (IAHS Proceedings and Reports, 221).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 412p, 1999.

ESTRELA, M. J. et al. Fog collection in the western Mediterranean Basin (Valencia region, Spain). **Atmospheric Research**, Amsterdam, v. 87, n. 3-4, p. 324-337, Mar. 2008.

EUGSTER, W. Fog research. **Die Erde**, Berlin, v. 139, n. 1-2, p. 1-10, 2008.

FALCONER, R.; FALCONER, P. S. Determination of cloud water acidity at a mountain observatory in the Adirondack mountains of New York State. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Malden, v. 85, n. 12, p. 7465-7470, Dec. 1980.

FALLAS, J. Net precipitation patterns in undisturbed and fragmented Costa Rican cloud forest. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON HYDROLOGY AND WATER MANAGEMENT IN THE HUMID TROPICS, 2., 1999, Cidade do Panama. **Proceedings**…Paris: IHP-V/UNESCO, 2002. p. 389-398.

FIGUEIRA, C. O. N. **Quantificação da precipitação oculta sob o urzal de substituição e laurissilva do til na vertente norte do Paul da Serra, Ilha da Madeira**. 2005. 50 f. Estágio científico apresentado na Universidade da Madeira para obtenção do grau de licenciatura, Departamento de Biologia, Universidade da Madeira, Pólo Tecnológico da Penteada, Funchal, 2005.

_____. et al. Estudo da precipitação oculta em dois tipos de vegetação da Ilha da Madeira. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 8., 2006, Figueira da Foz. **Anais**... Lisboa: APRH, 2006. 10 p.

FISAK, J.; TESAR, M.; FOTTOVA, D. Pollutant concentrations in rime and fog water. **Soil and Water Research**, Prague, v. 3, n.1, p. 68-73, 2008 (special issue).

FISCHER, D.; STILL, C. J. **Evaluating patterns of fog water deposition and isotopic composition on the California Channel Islands**. Santa Barbara: University of California, 2007, 43 p. (Paper 2788).

FRAZER, G. W.; CANHAM, C. D.; LERTZMAN, K. P. Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. Burnaby: Simon Fraser University; Millbrook: Institute of Ecosystem Studies, 1999. Disponível em: <http://www.rem.sfu.ca/forestry/downloads/gap_gap_light_analyzer.htm>. Acesso em: ago. 2012.

FRUMAU, K. F. A. et al. A comparison of the performance of three types of passive fog guages under conditions of wind-driven fog and precipitation. **Hydrological Processes**, Malden, v. 25, n. 3, p. 374-383, Jan. 2011.

FU, G. et al. An observational and modeling study of a sea fog event over the Yellow Sea on 1 august 2003. **Meteorology and Atmospheric Physics**, Athens, v. 107, n. 3-4, p.149-159, Aug. 2010.

FUJIEDA, M. et al. Hydrological processes at two subtropical forest catchments: the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 196, n. 1-4, p. 26-46, Sept. 1997.

FURIAN, S. M.; PFEIFER, R. M. Levantamento de reconhecimento do meio físico do Núcleo Cunha, SP. **Boletim Técnico do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 40, n. 2, p. 183-193, dez. 1986.

_____. **Estudo geomorfológico do escoamento superficial pluvial em parcelas experimentais no Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Cunha / SP**: um esboço metodológico. 1987. 187 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

GABRIEL, G.; JAUZE, L. Canopy throughfall under *Sophora denudate* tress in a Reunion upper-montane forest. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF FOG, FOG COLLECTION AND DEW, 3., 2004, Cape Town. **Proceedings**…Cape Town: University of Pretoria, 2004. 4 p.

GARCIA, A. L.; ARANGO, M. C. Evaluation and quantification of the hydrological potential of the fog at the Ipuana's hill, Guajira desert, Colombia, South America. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF FOG, FOG COLLECTION AND DEW, 3., 2004, Cape Town. **Proceedings**… Cape Town: University of Pretoria, 2004. 4 p.

GERMER, S.; ELSENBEER, H.; MORAES, J. M. Throughfall and temporal trends of rainfall redistribution in an open tropical rainforest, south-western Amazonia (Rondônia, Brazil) **Hydrology Earth System Sciences**, Germany, v. 10, p. 383-393, 2006.

GOMEZ-PERALTA, D. et al. Rainfall and cloud-water interception in tropical montane forests in the eastern Andes of Central Peru. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 3-4, p.1315-1325, 2008.

GONÇALVES, F. L. T.; FERNANDES, G. P. Analysis of fog events at São Paulo metropolitan area and surroundings. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF FOG, FOG COLLECTION AND DEW, 3., 2004, Cape Town. **Proceedings**…Cape Town: University of Pretoria, 2004. 4 p.

GOODMAN, J. The collection of fog drip. **Water Resources Research**, Malden, v. 21, n. 3, p. 392-394, Mar. 1985.

GORDON, C. A.; HERRERA, R.; HUTCHINSON, T. C. Studies of fog events at two cloud forests near Caracas, Venezuela-I. frequency and duration of fog. **Atmospheric Environment**, v. 8, n. 2, 1994.

HAFKENSCHEID, R. L. L. J. **Hydrology and biogeochemistry of tropical montane rain forests of contrasting stature in the Blue Mountains, Jamaica**. 2000. 315 f. Ph.D. thesis - Vrije Universiteit, Amsterdam, 2000.

_____. et al. Water budgets of two upper montane rain forests of contrasting stature in the Blue Montains, Jamaica. In: SECOND INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON HYDROLOGY AND WATER MANAGEMENT IN THE HUMID TROPICS, 2., 1999, Cidade do Panama. **Proceedings**…Paris: IHP-V/UNESCO, 2002. p. 399-411.

HAMILTON, L. S. et al. **Los bosques y el agua**. Roma: FAO, 2009. 89 p. (Estudio

FAO: 155).

HOLDER, C. D. Rainfall interception and fog precipitation in a tropical montane cloud forest of Guatemala. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 190, n. 2-3, p. 373-384, Mar. 2004.

HOLWERDA, F. et al. Estimating fog deposition at a Puerto Rican elfin cloud forest site: comparison of the water budget and eddy covariance methods. **Hydrological Processes**, Malden, v. 20, n. 13, p. 2669-2692, Aug. 2006.

_____.; BRUIJNZEEL, L. A.; SCATENA, F. N. Comparison of passive fog gauges for determining fog duration and fog interception by a Puerto Rican elfin cloud forest . **Hydrological Processes**, Malden, v. 25, n. 3, p. 367-373, Jan. 2010.

_____. et al. Fog interception in Puerto Rican elfin cloud forest: a wet-canopy water budget approach. In: BRUIJNZEEL, L. A. et al. (Ed.). **Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010a. p. 282-292.

_____. et al. Rainfall and cloud water interception in mature and secondary lower montane cloud forests of central Veracruz, Mexico. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 384, n. 1-2, p. 84-96, Apr. 2010b.

HUTLEY, L. B. et al. Water balance of an Australian Subtropical Rainforest at altitude: the ecological and physiological significance of intercepted cloud and fog. **Australian Journal of Botany**, Collingwood, v. 45, n. 2, p. 311-329, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p. (Série Manuais Técnicos em Geociências, nº 1).

INTERNATIONAL DEVELOPMENT RESEARCH CENTRE. **Fogwater collection system: a new technology of simple application and large economic and social impact**. Ottawa: International Development Research Centre, 1993, 17 p.

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY. **Report of implementation design survey on the japanese technical cooperation project for forestry research in São Paulo, Brazil**. [S.l.]: JICA, 1980, 284 p.

_____. **Synthetic report of the japanese technical cooperation project for**

forestry research in São Paulo, Brazil. [S.l.]: JICA, 1986. 555 p.

JUVIK, J. O.; NULLET, D. Comments on “a proposed standard fog collector for use in high-elevation regions”. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 34, n. 9, p. 2108-2110, Sept. 1995.

_____.; EKERN, P. C. **A climatology of mountain fog on Mauna Loa, Hawaii Island**. Honolulu: University of Hawaii, 1978. 63 p. (Technical Report, n° 118).

LARRAIN, H. et al. Fog measurements at the site “Falda Verde” north of Chañaral compared with other fog stations of Chile. **Atmospheric Research**, Amsterdam, v. 64, n. 1-4, p. 273-284, Sept.-Oct. 2002.

LEITÃO FILHO, H. F. Aspectos taxonômicos das florestas do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 1., Campos do Jordão, 1982. **Anais**... São Paulo: Silvicultura em São Paulo, 1982. p. 197-206.

LIU, W. et al. Water input from fog drip in the tropical seasonal rain Forest of Xishuangbanna, South-West China. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 20, n. 5, p. 517-524, Sept. 2004.

_____. et al. The importance of radiation fog in the tropical seasonal rain Forest of Xishuangbanna, South-West China. **Hydrology Research**, London, v. 39, n. 1, p. 79-87, 2008.

LLOYD, C. R.; MARQUES FILHO, A. O. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 42, n. 1, p. 63-73, 1988.

LOUW, C.; VAN HEERDEN, J.; OLIVIER, J. The South African fog-water collection experiment: meteorological features associated with water collection along the eastern escarpment of South Africa. **Water SA**, Gezina, v. 24, n. 4, p. 269-280, 1998.

LUIZ, R. A. F. **Classificação climática do núcleo Cunha do Parque Estadual da Serra do Mar, Cunha-SP**. 2008. 103 f. Trabalho de Graduação Individual (Bacharelado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2008.

MARTINS, N. S. F. et al. Estudo de influência da brisa marítima na cidade do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza.

Anais... Fortaleza: CBMET, 2004. Disponível em: <http://www.cbmet.com/edicoes.php?cgid=22&imageField2.x=48&imageField2.y=9>. Acesso em: 02 out. 2012.

MARZOL, M. V. Fog water collection in a rural park in the Canary Islands (Spain). **Atmospheric Research**, Amsterdam, v. 64, n. 1-4, p. 239-250, Sept.-Oct. 2002.

_____.; SANTOS, G. G. Time variations of fog during summer in the Canary Islands. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF FOG, FOG COLLECTION AND DEW, 3., 2004, Cape Town. **Proceedings**…Cape Town: University of Pretoria, 2004. 4 p.

MCJANNET, D.; WALLACE, J. **Methodology for estimating cloud interception inputs to tropical rainforest.** Black Mountain: CSIRO, 2006. 14 p. (CSIRO Land and Water Science Report 6/6).

_____. et al. **Water balance measurements in Australia's wet tropics: sites, methods and results**. Black Mountain: CSIRO, 2006. 30 p. (CSIRO Land and Water Science Report 19/6).

_____.; WALLACE, J.; REDDELL, P. Precipitation interception in Australian tropical rainforests: II. Altitudinal gradients of cloud interception, stemflow, throughfall and interception. **Hydrological Processes**, Malden, v. 21, n. 13, p. 1703-1718, Jun. 2007.

MILETA, M. Results from fog water collection on Mt. Velebit in Croatia. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF FOG, FOG COLLECTION AND DEW, 3., 2004, Cape Town. **Proceedings**…Cape Town: University of Pretoria, 2004. 4 p.

MONTEIRO, C. A. F. **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo**: estudo geográfico sob a forma de atlas. 1973. 129 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1973.

MOUSAVI-BAYGI, M. The implementation of fog water collection systems in Northeast of Iran. **International Journal of Pure and Applied Physics**, Alexandria, v. 4, n. 1, p. 13-21, 2008.

OLIVIER, J. Fog-water harvesting along the West Coast of South Africa: a feasibility study. **Water SA**, v. 28, n. 4, p. 349-360, 2002.

_____.; RAUTENBACH, C. J. The implementation of fog water collection systems in South Africa. **Atmospheric Research**, Amsterdam, v. 64, n. 1-4, p. 227-238, Sept.-Oct. 2002.

OSSES, P; SCHEMENAUER, R. S.; LEIBBRAND, M. Fog collection evaluation in the Sadaa Governorate, Yemen. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF FOG, FOG COLLECTION AND DEW, 3., 2004, Cape Town, **Proceedings**…Cape Town: University of Pretoria, 2004. 4 p.

PADILLA, H. et al. A field comparison of cloud water collectors in a mountainous region under low wind speed conditions in Eastern Mexico. **Atmósfera**, México, v. 9, n. 3, p. 189-199, jul 1996.

PATRICIO, M. S.; GONÇALVES, A. C.; DAVID, J. S. Intercepção horizontal do nevoeiro pela vegetação. **Silva Lusitana**, Oeiras, v. 6, n. 2, p. 247-256, 1998.

PETTO JR., S.; GONÇALVES, F. L. T.; ROCHA, R. P. Análise da garoa e dos nevoeiros sobre a área metropolitana de São Paulo: tendências do clima de 1933 a 2005 e obtenção numérica de incidências climatológicas de nevoeiro. In: XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2008, São Paulo. Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2008. 5 p.

PINEDA, L. A. C. **Estudo observacional e de modelagem hidrológica de uma microbacia em floresta não perturbada na Amazônia Central**. 2008. 236 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Ministério da Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2008.

PRADA, S. N.; SILVA, M. O. Fog precipitation on the Island of Madeira (Portugal). **Environmental Geology**, Berlin, v. 41, n. 3-4, p. 384-389, Dec. 2001.

PRADA, S. N. et al. Fog water collection in Madeira Island (Portugal). In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF FOG, FOG COLLECTION AND DEW, 3., 2004, Cape Town. **Proceedings**…Cape Town: University of Pretoria, 2004. 4 p.

_____. et al. Cloud water interception in the high altitude tree heath forest (*Erica arborea* L.) of Paul da Serra Massif (Madeira, Portugal). **Hydrological Processes**, Malden, v. 26, n. 2, p. 202-212, Jan. 2012.

PRANDINI, F. L. et al. O uso e ocupação do solo no Alto Paraíba (I). Contribuição ao conhecimento de sua evolução. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 1., Campos do Jordão, 1982. **Anais**... São Paulo: Silvicultura em São

Paulo, 1982. p. 1929-1935.

RITTER, A. et al. Contribuición hídrica de la captación de niebla al balance de un bosque de laurisilva en el Parque Nacional de Garajonay. In: SAMPER CALVETE, J.; PAZ GONZÁLES, A. (Ed.) **VII Jornadas de Investigación en la Zona no Saturada del Suelo**. La Coruña: Tórculo Artes Gráficas, 2005. v. 8, p. 351-358.

_____.; REGALADO, C. M.; ASCHAN, G. Fog water collection in a subtropical elfin laurel forest of the Garajonay National Park (Canary Islands): a combined approach using artificial fog catchers and a physically based impaction model. **Journal of Hydrometeorology**, Boston, v. 9, n. 5, p. 920-935, Oct. 2008.

SANTOS, P. M.; FUNARI, F. L. Clima local. In: BICUDO, D. C.; FORTI, M. C.; BICUDO, C. E. M. (Org.). **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI)**: unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo. São Paulo: Editora Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2002. p. 29-48.

SAS Institute Inc. **SAS/STAT® 9.22 user's guide**. Cary, NC: SAS institute Inc., 2010.

SCHEMENAUER, R. S.; CERECEDA, P. The role of wind in rainwater catchment and fog collection. **Water International**, Montpellier, v. 19, p. 70-76, 1994a.

_____.; CERECEDA, P. A proposed standard fog collector for use in high-elevation regions. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 33, n. 11, p. 1313- 1322, Nov. 1994b.

_____.; CERECEDA, P. Reply to comments by Juvik and Nullet (1995). **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 34, n. 9, p. 2111-2112, Sept. 1995.

_____.; JOE, P. I. The collection efficiency of a massive fog collector. **Atmospheric Research**, Amsterdam, v. 24, n. 1-4, p. 53-69, Dec. 1989.

_____.; OSSES, P.; LEIBBRAND, M. Fog collection evaluation and operational projects in the Hajja Governorate, Yemen. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF FOG, FOG COLLECTION AND DEW, 3., 2004, Cape Town. **Proceedings**…Cape Town: University of Pretoria, 2004. 4 p.

SCIENCE IN AFRICA. Fog-harvesting for water – clouds on tap. 2002. Disponível em: <http://www.scienceinafrica.co.za/. Acesso em: 17 ago. 2013.

SHANYENGANA, E. S. et al. Exploring fog as a supplementary water source in Namibia. **Atmospheric Research**, Amsterdam, v. 64, n. 1-4, p. 251-259. Sept.-Oct. 2002.

SINGH, B.; KAUSHIK, A.; DUTTA, H. N. Spatial and temporal distribuition of fog and its harvesting potential over northern India. INTERNATIONAL CONFERENCE OF FOG, FOG COLLECTION AND DEW, 3., 2004, Cape Town. **Proceedings**…Cape Town: University of Pretoria, 2004. 4 p.

STADTMULLER, T.; AGUDELO, N. Amount and variability of cloud moisture input in a tropical cloud forest. In: LANG, H.; MUSY, A. (Ed.). **Hydrology in mountainous regions. I-Hydrological measurements: the water cycle.** Wallingford**:** International Association of Hydrological Sciences Publication, 1990. p. 25-32.

TANAKA, N. et al. Effects of fog on the water budget of a hill evergreen forest in Northern Thailand. In: ASIA PACIFIC ASSOCIATION OF HYDROLOGY AND WATER RESOURCES CONFERENCE, 3., 2006, Bangkok. **Proceedings**… Bangkok: APHW, 2006. 8 p.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - WORLD CONSERVATION MONITORING CENTRE. **Tropical montane cloud forest**. Disponível em: <http://www.unep.wcmc.org/forest/cloudforest/cloudforests/cfm> Acesso em: 18 dez. 2008.

VALIENTE, J. A.; ESTRELA, M. J.; CORELL, D. A fog collection network in the Valencia region (Western Mediterranean Basin). In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF FOG, FOG COLLECTION AND DEW, 3., 2004, Cape Town. **Proceedings**…Cape Town: University of Pretoria, 2004. 4 p.

VENEKLAAS, E. J.; VAN EK, R. Rainfall interception in two tropical montane rain forests, Colombia. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 4, n. 4, 311-326, Oct.-Dec.,1990.

VENEZIANI, Y. **Análise e caracterização dos regimes de ventos do núcleo Cunha do parque estadual da Serra do Mar, Cunha-SP**. 2011. 145 f. Trabalho de Graduação Individual (Bacharelado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

VOGELMANN, H. W. Fog precipitation in the cloud forests of Eastern Mexico. **Bioscience**, Reston, v. 23, n. 2, p. 96-100, Feb. 1973.

WEAVER, P. L. Cloud moisture interception in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. **Caribbean Journal of Science**, Puerto Rico, v.12 n. 3-4, p. 129-144, 1972.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Measurement of precipitation. In: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (Ed.). **Guide to meteorological instruments and methods of observation.** Geneva: Chalrperson Publications Board, 2008, cap. 6, p. 1.6/1-1.6/18.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Resumo dos resultados dos testes de normalidade para os dados dos coletores da estação meteorológica e para os dados dos coletores dos três setores da microbacia “D”.

Coletores da estação meteorológica.

Teste de Bartlett

- dados: volume de água por coletor
- Bartlett's Ki-quadrado = 566,8622; graus de liberdade = 3; p-valor = < $2{,}2e^{-16}$
- p-valor: menor que 0,05
- variâncias não são homogêneas
- **não** há normalidade

Coletores dos três setores da microbacia “D”.

Teste de Bartlett

- dados: volume de água por setor
- Bartlett's Ki-quadrado = 75,6269, graus de liberdade = 2, p-valor < $2{,}2e^{-16}$
- p-valor: menor que 0,05
- variâncias não são homogêneas
- **não** há normalidade

APÊNDICE B - Resumo dos resultados das análises do teste de normalidade para os coletores da estação meteorológica e para os coletores dos três setores da microbacia “D” com os dados transformados.

Coletores da estação meteorológica.

Teste de Bartlett

Resultado para a transformação 1

- dados: (volume de água + 0,5)^{2}
- Bartlett's Ki-quadrado = 164,8775; graus de liberdade = 3; p-valor= < 2,2e^{-16}
- p-valor: menor que 0,05
- variâncias não são homogêneas
- **não** há normalidade

Resultado para a transformação 2

- dados: (volume de água)^{0,3}
- Bartlett's Ki-quadrado = 40,1642; graus de liberdade = 3; p-valor = 9,834e^{-9}
- p-valor: menor que 0,05
- variâncias não são homogêneas
- **não** há normalidade

Resultado para a transformação 3

- dados: (volume de água)^{1,1}
- Bartlett's Ki-quadrado = 40,719; graus de liberdade = 3; p-valor = 7,501e^{-9}
- p-valor: menor que 0,05
- variâncias não são homogêneas
- **não** há normalidade

Resultado para a transformação 4

- dados: (taxa de coleta de água)^{0,9}
- Bartlett's Ki-quadrado = 40,1345; graus de liberdade = 3; p-valor = 9,978e^{-9}
- p-valor: menor que 0,05

- variâncias não são homogêneas
- **não** há normalidade

Coletores dos três setores da microbacia "D".

Teste de Bartlett

Resultado para a transformação 1

- dados=$(volume+0,5)^2$
- Bartlett's Ki-quadrado = 14,4573, graus de liberdade = 2, p-valor = 0,0007255
- p-valor: menor que 0,05
- variâncias não são homogêneas
- **não** há normalidade

Resultado para a transformação 2

- dados=$(volume)^{-0,64}$
- Bartlett's Ki-quadrado = 0,9324, graus de liberdade = 2, p-valor = 0,6274
- p-valor: maior que 0,05
- variâncias são homogêneas
- **há** normalidade

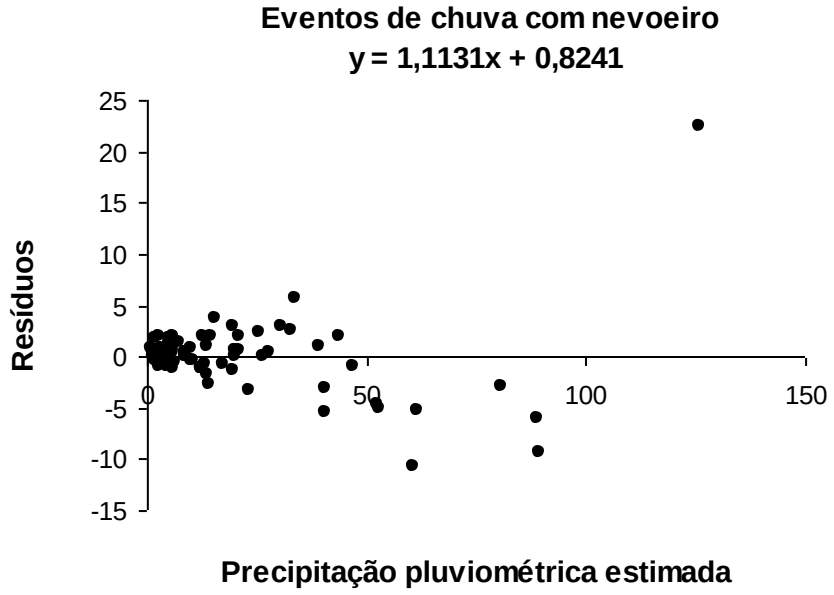
Teste de Shapiro-Wilk

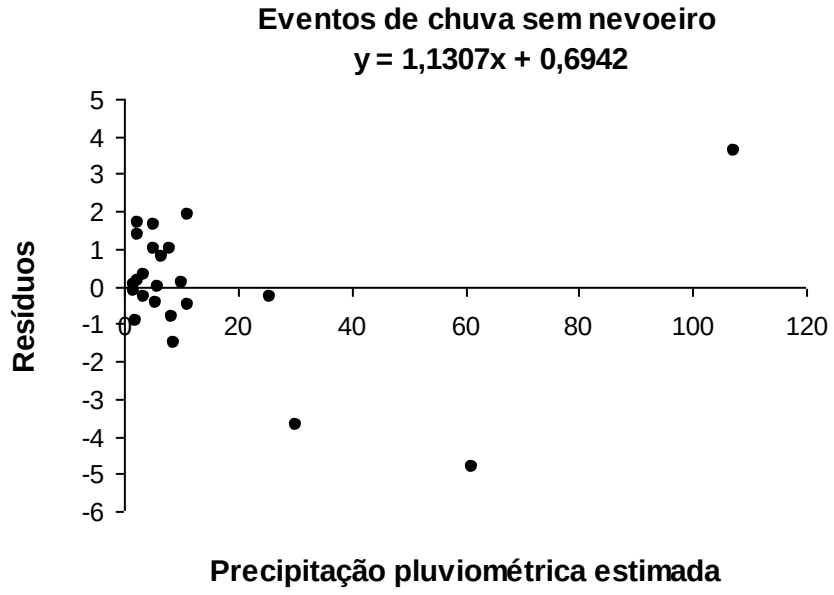
Resultado para a transformação 2

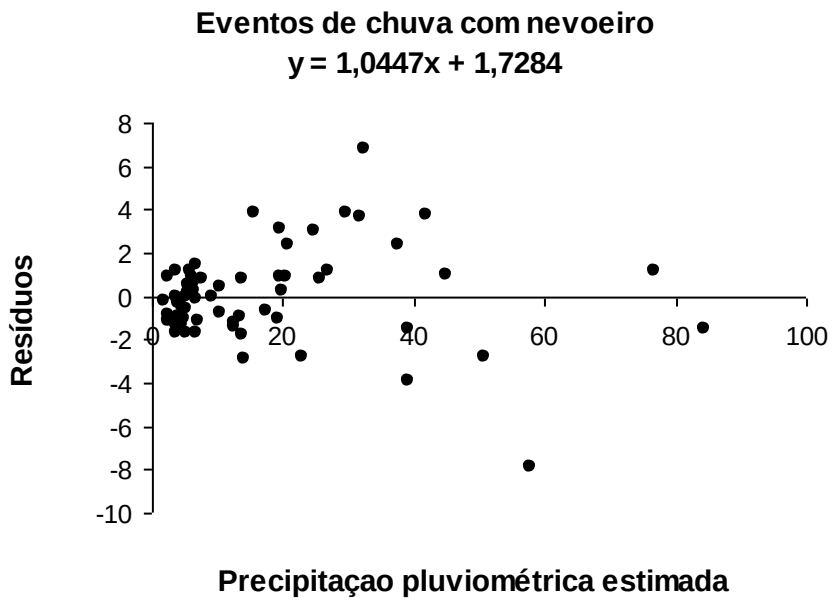
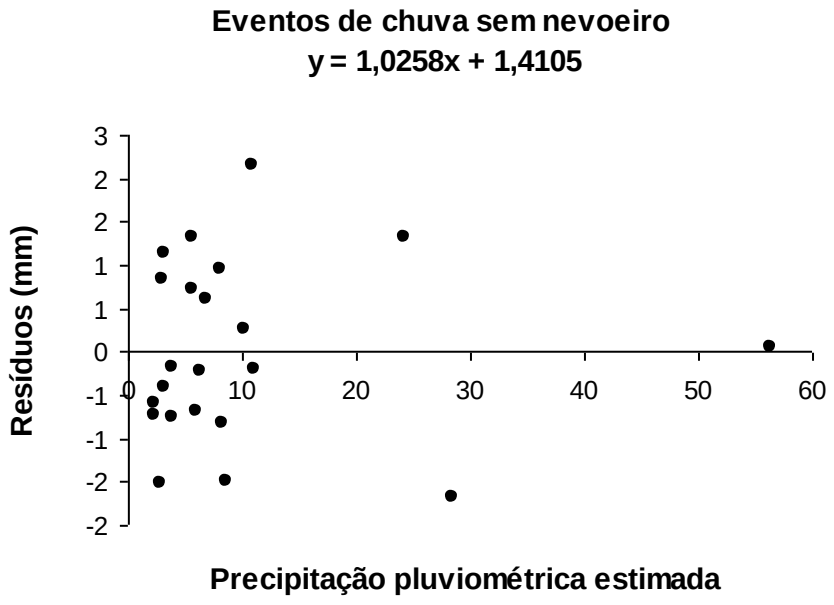
- dados: resíduos
- W = 0,9615, p-valor = $4,91e^{-07}$
- p-valor: menor que 0,05
- variâncias não são homogêneas
- **não** há normalidade

APÊNDICE C - Resumo dos resultados das análises de resíduos para verificar se os pressupostos para uso das regressões lineares são atendidos.

Equações com todos os eventos coletados no ano





APÊNDICE C, conclusão.

Equações com exclusão de 10 pontos provenientes de coletas com acúmulo de água de vários dias de chuva