

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AMBIENTAL**

Joana Nery Giglio

**INTERCEPTAÇÃO DA CHUVA EM PEQUENA BACIA
EXPERIMENTAL COBERTA POR FLORESTA OMBRÓFILA
MISTA**

Florianópolis
2013

Joana Nery Giglio

**INTERCEPTAÇÃO DA CHUVA EM PEQUENA BACIA
EXPERIMENTAL COBERTA POR FLORESTA OMBRÓFILA
MISTA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Masato Kobiyama

Florianópolis
2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Giglio, Joana Nery

Interceptação da chuva em pequena bacia experimental
coberta por Floresta Ombrófila Mista / Joana Nery Giglio ;
orientador, Masato Kobiyama - Florianópolis, SC, 2013.
194 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia Ambiental. 2. Interceptação da chuva. 3.
Floresta Ombrófila Mista. 4. Chuva interna. 5. escoamento
de tronco. I. Kobiyama, Masato. II. Universidade Federal
de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Ambiental. III. Título.

“Interceptação da Chuva em Pequena Bacia Experimental Coberta por Floresta Ombrófila Mista”


JOANA NERY GIGLIO

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós - Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de

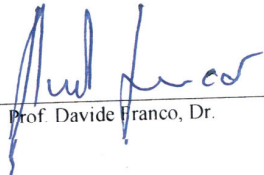
MESTRA EM ENGENHARIA AMBIENTAL

na Área de Engenharia Ambiental.

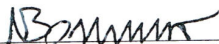
Aprovado por:



Prof. Masato Kobiyama, Dr.
(Orientador)



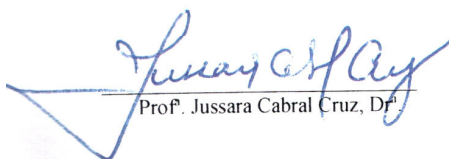
Prof. Davide Franco, Dr.



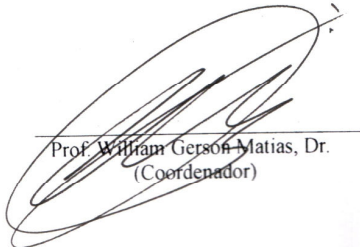
Prof. Nadia Bernardi Bonumá, Dr.^a



Prof. Pedro Luiz Borges Chaffé, Dr.



Prof. Jussara Cabral Cruz, Dr.^a



Prof. William Gerson Matias, Dr.
(Coordenador)

FLORIANÓPOLIS, SC – BRASIL
MARÇO/2013

AGRADECIMENTOS

Ao Masato – a quem devo minha descoberta da beleza da Hidrologia – pela oportunidade de trabalhar na Araponga, pela liberdade nas escolhas do quê e de como estudar, e pelo incentivo permanente em continuar pelos caminhos da ciência.

À Aline e ao Fernando, sem os quais a Araponga nem existiria, pela constante parceria ao longo deste trabalho. Ao Albert, parceiro oficial das viagens de campo quinzenais a Rio Negrinho. Ao Filipe, Gean, Herminio, Leonardo, Marco, Roberto, Rossano, Simone, e todos os amigos do LabHidro que alguma ou muitas vezes deixaram sua vida pessoal de lado para me acompanhar nos trabalhos de campo.

Aos professores Davide, Jussara, Nádía e Pedro pelas importantes contribuições.

Ao Lucas, da secretaria do PPGEA, pela ajuda sempre cordial com a burocracia.

Ao Purungo, por nos apresentar a bacia da Araponga, o canto do nhambu, a árvore de erva-mate, o ronco do bugio, a pegada da onça, e tantas outras sutilezas da mata.

Ao Rica, por fazer meus dias mais leves e bonitos, pelo incentivo nas horas de cansaço e pela paciência a cada noite insone.

À família e aos amigos, que dão mais alegria à vida fora do laboratório.

À Battistella Florestal, que permitiu a instalação da Araponga na Fazenda Santa Alice.

Ao CNPq e à FINEP pelo auxílio financeiro.

Muito obrigada!

*Sabedoria pode ser que seja estar uma
árvore.*

(Manoel de Barros)

RESUMO

O primeiro processo hidrológico pelo qual a água da chuva passa é a interceptação, que redistribui - temporal e espacialmente - a água na bacia hidrográfica e regula a disponibilidade de água para os mecanismos de geração de vazão. A compreensão desse processo é fundamental para o manejo adequado de bacias hidrográficas. O objetivo desta Dissertação é estudar a interceptação em uma pequena bacia caracterizada por Floresta Ombrófila Mista, através de monitoramento hidrológico. Os objetivos específicos são: quantificar a chuva interna, o escoamento de tronco e as perdas por interceptação na bacia experimental; verificar a relação entre os componentes da interceptação (chuva interna e escoamento de tronco) e as características da chuva; verificar a relação entre a chuva interna e a cobertura florestal; e analisar a variabilidade da chuva interna e da cobertura florestal. O sistema de monitoramento consiste de: pluviógrafo para monitoramento de chuva externa; pluviômetros para monitoramento de chuva externa e interna; e colares conectados a recipientes de armazenamento para monitoramento de escoamento de tronco. Índices de cobertura do dossel foram estimados com fotografias digitais. Os valores desse índice estiveram entre 54 e 94%, com a média variando de 82% a 87% ao longo do ano. A chuva externa (P) e a chuva interna (Tf) foram monitoradas durante 368 dias. A P somou 1621 mm, distribuídos em 88 eventos ou 162 dias. Verificou-se que a chuva que incidiu sobre a bacia pode ser considerada uniforme e, portanto, a variabilidade observada na Tf resulta da presença da vegetação. A Tf somou 1368 mm (84,4% da chuva externa) e é um fenômeno heterogêneo: a proporção de P convertida em Tf variou de 24% a 131%. Essa proporção não apresentou qualquer tipo de correlação estatística com o índice de cobertura do dossel. O escoamento de tronco (Sf) foi medido durante 2,5 meses. Árvores com tronco de até 5 cm de diâmetro produziram entre 0 e 5 mm de Sf . Em árvores maiores, o Sf variou de 0 a 1 mm. Em média, o Sf na bacia foi de 2,3 mm, ou 3,2% da chuva externa. A interceptação pela copa na bacia variou de 0 a 28 mm ao longo do ano, representando em média 11 a 15% da P . Observou-se que, em escala pontual, a vegetação pode atuar como concentradora de chuva: em um dos pontos de monitoramento, a Tf superou a P em 70% dos períodos monitorados.

Palavras-chave: Interceptação; Floresta Ombrófila Mista; chuva interna; escoamento de tronco; índice de cobertura do dossel.

ABSTRACT

The first hydrological process that rainfall goes through is the rainfall interception. This process redistributes water spatially and temporally on the watershed, and regulates the water quantity available to the streamflow generation. Therefore, to understand such processes is essential to effective watershed management. This Dissertation aims to study the rainfall interception in a small catchment covered by Mixed Ombrophilous Forest through hydrological monitoring. The specific objectives are: to quantify the throughfall, stemflow and rainfall interception loss at the forested catchment; to investigate the relations between the rainfall interception components (throughfall and stemflow) and the rainfall characteristics; to investigate the relations between throughfall and canopy cover; and to analyze the variability of throughfall and canopy cover. The monitoring system consists of: automatic rain gauge for rainfall monitoring; gauges for rainfall and throughfall monitoring; and collars connected to small containers for stemflow monitoring. The canopy cover fraction (ICD) was estimated from digital photography's. The ICD varied from 54 to 94%, depending on the season and the monitoring site, and averaged 82.4% on winter and 87.4% on summer. Gross rainfall (P) and throughfall (Tf) were monitored during 368 days. The total amount of P was 1621 mm, measured in a total of 88 rainfall events or 162 days. It was verified that the incident rainfall can be considered uniform above the experimental catchment, therefore the heterogeneity of Tf is attributed to the presence of vegetation. Tf amounted to 1368 mm (84.4% of P), and the proportion between Tf and P was about 24% to 131%. The Tf/P ratio does not have any relation to the canopy cover fraction. The stemflow (Sf) was measured during 2.5 months, and such measures are more heterogeneous than Tf ones. Trees with small trunk diameter (< 5 cm) produced varied Sf (0 to 5 mm). Larger trees produced 0 to 1 mm of Sf . The Sf averaged 2.3 mm or 3.2% of gross rainfall. Canopy interception ranged from 0 to 28.3 mm during the year, and averaged 11 to 15% of gross rainfall. It was observed that at point scale vegetation may have a rainfall concentrator role: at one of the monitoring sites Tf overcame P on 70% of monitoring periods.

Keywords: Interception; Mixed Ombrophilous Forest; throughfall; stemflow; canopy cover fraction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplos de armazenamento de água pelos elementos da vegetação na Bacia Experimental do rio Araponga	39
Figura 2. Parcelas do processo de interceptação.	42
Figura 3. Relação do coeficiente de variação com a chuva interna e a chuva externa	57
Figura 4. Influência da quantidade de pluviômetros e arranjos aleatórios nos resultados de chuva interna.....	59
Figura 5. Processos hidrológicos considerados neste trabalho.....	69
Figura 6. Fluxograma da obtenção de dados.....	71
Figura 7. Mapa de localização da bacia experimental do rio Araponga.	74
Figura 8. Paisagem da estrada de acesso à Bacia Experimental do rio Araponga, às 10:30 de 29/05/2012, após geada.	77
Figura 9. Fotografias da vegetação da bacia experimental.....	80
Figura 10. Localização dos pontos de monitoramento.....	82
Figura 11. Croqui da parcela A3.....	86
Figura 12. Croqui da parcela B4.....	87
Figura 13. Histogramas do diâmetro à altura do peito e da área da projeção da copa das árvores das parcelas A3 e B4.....	89
Figura 14. Dendograma de agrupamento das árvores quanto ao diâmetro à altura do peito e a área de projeção da copa	91
Figura 15. Instrumentos de monitoramento de chuva externa.....	94
Figura 16. Pluviômetro para medição de chuva interna.....	96
Figura 17. Pluviômetros entre a vegetação nos pontos.	97
Figura 18. Coletores do tipo espiral (esq.) e colar (dir.) conectados a recipiente de armazenamento de água, para monitoramento de escoamento de tronco.....	98
Figura 19. Procedimento para o corte longitudinal das mangueiras....	101
Figura 20. Instalação dos coletores do tipo espiral.....	103

Figura 21. Instalação dos coletores do tipo colar.....	104
Figura 22. Recipientes de armazenamento.....	105
Figura 23. Instrumentos para aquisição de fotografias da cobertura florestal	108
Figura 24. Determinação do círculo com distorção radial insignificante.	109
Figura 25. Histograma da chuva externa nos períodos de monitoramento.....	113
Figura 26. Chuva externa medida no pluviômetro caseiro em relação aos registros do pluviógrafo.....	117
Figura 27. Alturas de chuva nos pluviômetros em relação aos registros do pluviógrafo.....	118
Figura 28. Fotografias do dossel do ponto B1-2 (a) em 19/01/2012 e (b) em 15/02/2012.	121
Figura 29. Distribuição dos índices de cobertura do dossel da bacia experimental.....	122
Figura 30. Distribuição dos índices de cobertura do dossel de cada ponto de monitoramento.	122
Figura 31. Dendograma de agrupamento dos índices de cobertura de dossel.	123
Figura 32. Fotografias capturadas em 15/02/2012.....	124
Figura 33. Variação do índice de cobertura do dossel de cada local de monitoramento, ao longo dos meses.....	125
Figura 34. Histograma dos índices de cobertura do dossel de cada estação.....	127
Figura 35. Variação sazonal do índice de cobertura do dossel (ICD) do ponto B4.....	128
Figura 36. Histograma da chuva interna (Tf)	131
Figura 37. Distribuição dos resultados de chuva interna (Tf) em proporção à chuva externa (P).	132
Figura 38. Distribuição dos resultados de chuva interna (Tf) em proporção à chuva externa (P) em cada período monitorado.....	134

Figura 39. Distribuição dos percentuais de chuva interna por estação do ano.....	135
Figura 40. Agrupamento dos pontos de monitoramento quanto à chuva interna.....	136
Figura 41. Exemplos de obstrução do fluxo do escoamento de tronco.	138
Figura 42. Relação entre as alturas de chuva interna (Tf) e externa (P)	139
Figura 43. Gráficos de valores diários de Tf versus P	140
Figura 44. Estimativa do armazenamento da copa nos pontos de monitoramento	142
Figura 45. Relação entre a proporção de chuva interna (Tf) e chuva externa (P).....	147
Figura 46. Relação entre índice de cobertura do dossel e chuva interna (Tf).....	149
Figura 47. Relação entre chuva interna (Tf) e índice de cobertura do dossel, por estação do ano.....	149
Figura 48. Relação entre chuva interna (Tf) e índice de cobertura do dossel, por local de monitoramento.....	150
Figura 49. Distribuição dos volumes de escoamento de tronco por árvore.....	152
Figura 50. Distribuição do escoamento de tronco (mm) por árvore....	152
Figura 51. Relação entre a área da copa e o diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores com coleta de escoamento de tronco.	154
Figura 52. Relações entre os volumes de escoamento de tronco (Sf) e as características das árvores.	155
Figura 53. Relação entre o escoamento de tronco (Sf) em milímetros e as características das árvores..	156
Figura 54. Relação entre as perdas por interceptação pela copa (Ic) e a chuva externa.	160
Figura 55. Chuva interna, escoamento de tronco e perdas por interceptação em cada período monitorado.....	163

Figura 56. Proporção em relação à chuva externa (P) dos processos: chuva interna, escoamento de tronco e interceptação, em cada período monitorado. 164

Figura 57. Proporção em relação à chuva externa (1621 mm) dos processos: chuva interna, escoamento de tronco e interceptação, em cada local monitorado. 165

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Síntese de experimentos de interceptação em regiões de clima equatorial.....	46
Tabela 2. Síntese de experimentos de interceptação em regiões de clima temperado.....	48
Tabela 3. Síntese de experimentos de interceptação em regiões de clima tropical e sub-tropical.....	50
Tabela 4. Síntese de experimentos de interceptação em regiões de clima semi-árido.....	55
Tabela 5. Datas das medições de chuva externa, chuva interna, escoamento de tronco e de captura das fotografias do dossel.	72
Tabela 6. Características do terreno dos locais de monitoramento de chuva interna e cobertura florestal.	81
Tabela 7. Características das árvores da parcela A3.	84
Tabela 8. Características das árvores da parcela B4.....	85
Tabela 9. Identificação das espécies encontradas nas parcelas A3 e B4.	88
Tabela 10. Estatísticas das características das parcelas A3 e B4.....	89
Tabela 11. Dispositivos de monitoramento de chuva externa.	93
Tabela 12. Características das árvores e coletores para medição de escoamento de tronco.	100
Tabela 13. Características dos períodos de monitoramento quanto à chuva externa..	114
Tabela 14. Características dos eventos de chuva externa em cada estação do ano.....	115
Tabela 15. Resultados da análise de agrupamento da chuva externa. .	116
Tabela 16. Variabilidade entre os coletores de chuva externa, nos períodos de nº 20 a 26.	119
Tabela 17. Variabilidade entre os coletores de chuva interna, nos períodos de nº 20 a 26.	119
Tabela 18. Índices de cobertura do dossel.....	120

Tabela 19. Índices de cobertura do dossel por estação do ano (exceto ponto B4).	127
Tabela 20. Percentuais de chuva interna em relação à chuva externa do período correspondente.	130
Tabela 21. Características dos períodos quanto aos percentuais de chuva interna.	133
Tabela 22. Capacidade de armazenamento da copa para cada local de medição	141
Tabela 23. Resultados das regressões lineares entre índice de cobertura do dossel e chuva interna.	150
Tabela 24. Resumo da geração de escoamento de tronco por árvore..	151
Tabela 25. Volumes e percentuais de escoamento de tronco das parcelas, estimados com os métodos I e II.	157
Tabela 26. Resumo das perdas por interceptação pela copa na bacia experimental.....	158
Tabela 27. Estatísticas das regressões lineares das equações 4.1, 4.2 e 4.3.	161
Tabela 28. Estatísticas dos coeficientes das equações 4.1, 4.2 e 4.3...	161

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- A1-2 – Local de monitoramento de chuva interna e cobertura florestal
- A3 – Local de monitoramento de chuva interna, cobertura florestal e escoamento de tronco
- A4 – Local de monitoramento de chuva interna e cobertura florestal
- ARA – Bacia experimental do rio Araponga
- B1-2 – Local de monitoramento de chuva interna e cobertura florestal
- B3 – Local de monitoramento de chuva interna e cobertura florestal
- B4 – Local de monitoramento de chuva interna, cobertura florestal e escoamento de tronco
- DAP – Diâmetro à altura do peito
- E1 – Local de monitoramento de chuva externa com pluviômetro
- E2 – Local de monitoramento de chuva externa com pluviômetro
- E3 – Local de monitoramento de chuva externa com pluviômetro
- FOM – Floresta Ombrófila Mista
- IAF – Índice de área foliar
- ICD – Índice de cobertura do dossel
- LabHidro – Laboratório de Hidrologia da UFSC
- PET – Politereftalato de etileno
- PLUV – Local monitoramento de chuva externa com pluviômetro e pluviógrafo
- PVC – Policloreto de vinila
- T1 – Tronco nº1, com monitoramento de escoamento de tronco

T2 – Tronco nº1, com monitoramento de escoamento de tronco

T7 – Tronco nº2, com monitoramento de escoamento de tronco

T21 – Tronco nº21, com monitoramento de escoamento de tronco

T28 – Tronco nº28, com monitoramento de escoamento de tronco

T50 – Tronco nº50, com monitoramento de escoamento de tronco

T57 – Tronco nº57, com monitoramento de escoamento de tronco

T59 – Tronco nº59, com monitoramento de escoamento de tronco

T65 – Tronco nº65, com monitoramento de escoamento de tronco

T69 – Tronco nº69, com monitoramento de escoamento de tronco

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

VERT – Exutório da bacia experimental e local de monitoramento de chuva interna e cobertura florestal

Z1-2 – Local de monitoramento de chuva interna e cobertura florestal

Z3 – Local de monitoramento de chuva interna e cobertura florestal

Z4 – Local de monitoramento de chuva interna e cobertura florestal

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição	Dimensão
A	Amplitude	–
$A_{copa,i}$	Área da projeção da copa de cada árvore i	$[L^2]$
$A_{copa,II}$	Área da projeção da copa da árvore típica da classe II	$[L^2]$
$A_{parcela}$	Área da parcela	$[L^2]$
c	Fração de cobertura da copa	–
CV	Coefficiente de variação de Pearson	–
dp	Desvio padrão	–
F	Valor-F da distribuição de Fisher	–
GL	Graus de liberdade	–
I	Perdas por interceptação	$[L]$
I_c	Perdas por interceptação pela copa	$[L]$
I_{ch}	Perdas por interceptação pelo chão da floresta	$[L]$
I_s	Perdas por interceptação pela serrapilheira	$[L]$
IC	Intervalo de confiança	–
$Imáx$	Intensidade máxima de chuva do período	$[L.T^{-1}]$
md	Mediana	–
me	Média	–
mo	Moda	–
n	Número de árvores da parcela	–
n_{II}	Número de árvores da classe II na parcela	–
N	Número de observações	–
Nb	Número de pixels brancos	–
Nda	Número de dias entre um evento e o anterior	–
Nds	Número de dias sem chuva do período	–
Np	Número de pixels pretos	–

Símbolo	Descrição	Dimensão
p	Valor-p do teste de hipótese	–
p	Coefficiente de chuva interna	–
p_t	Coefficiente de escoamento de tronco	–
P	Chuva externa	[L]
R	Coefficiente de correlação de Pearson	–
R^2	Coefficiente de determinação	–
S	Capacidade de armazenamento da copa	[L]
S_{ch}	Capacidade de armazenamento do chão da floresta	[L ⁻¹]
S_c	Capacidade específica de armazenamento da copa	[L ⁻¹]
S_L	Capacidade específica de armazenamento da folha	[L ⁻¹]
Sf	Escoamento de tronco (do inglês <i>stemflow</i>)	[L]
$Sf_{L,i}$	Volume de escoamento de tronco de cada i árvore da classe I	[L ³]
$Sf_{L,I}$	Soma dos volume de escoamento de tronco das árvores classe I	[L ³]
$Sf_{L,II}$	Volume de escoamento de tronco da árvore típica da classe II	[L ³]
$Sf_{L,parcela}$	Volume de escoamento de tronco da parcela	[L ³]
$Sf_{mm,i}$	Altura de escoamento de tronco de cada i árvore da classe I	[L]
$Sf_{mm,j}$	Altura de escoamento de tronco de cada j árvore da classe II	[L]
$Sf_{mm,parcela}$	Altura de escoamento de tronco da parcela	[L]
Tf	Chuva interna (do inglês <i>throughfall</i>)	[L]
κ	Coefficiente de extinção da radiação	–

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	29
1.1. OBJETIVOS.....	32
1.1.1.Objetivo geral.....	32
1.1.2.Objetivos específicos	32
1.2. JUSTIFICATIVA	33
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	37
2.1. INTERCEPTAÇÃO	37
2.1.1.Importância da interceptação	39
2.1.2.Fatores influenciadores	40
2.1.3.Estimativa de interceptação em florestas.....	41
2.2. CHUVA INTERNA	56
2.3. ESCOAMENTO DE TRONCO	59
2.3.1.Fatores influenciadores do escoamento de tronco.....	60
2.3.2.Métodos de medição de escoamento de tronco	62
2.3.3.Métodos de estimativa de escoamento de tronco.....	64
2.4. COBERTURA FLORESTAL	65
3. MATERIAIS E MÉTODOS	69
3.1. ÁREA DE ESTUDO	73
3.1.1.Geologia, relevo e solos	75
3.1.2.Clima	75
3.1.3.Vegetação.....	77
3.2. LOCAIS DE MONITORAMENTO.....	81
3.3. MONITORAMENTO DE CHUVA TOTAL.....	92
3.4. MONITORAMENTO DE CHUVA INTERNA	95
3.5. MONITORAMENTO DO ESCOAMENTO DE TRONCO	98

3.5.1. Amostragem	99
3.5.2. Instalação.....	100
3.5.3. Estimativa.....	105
3.6. MONITORAMENTO DA COBERTURA FLORESTAL..	107
3.6.1. Obtenção das fotografias.....	107
3.6.2. Cálculo do índice de cobertura do dossel.....	108
3.7. ANÁLISE DE DADOS.....	110
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	113
4.1. CHUVA EXTERNA	113
4.1.1. Análise temporal.....	115
4.1.2. Comparação entre coletores	116
4.1.3. Variabilidade espacial	117
4.2. COBERTURA FLORESTAL	120
4.2.1. Análise espacial.....	123
4.2.2. Análise temporal.....	125
4.3. CHUVA INTERNA	129
4.3.1. Análise temporal.....	133
4.3.2. Análise espacial.....	135
4.3.1. Relação com a chuva externa.....	138
4.3.2. Relação com a cobertura florestal.....	147
4.4. ESCOAMENTO DE TRONCO	151
4.4.1. Nas árvores.....	153
4.4.2. Na bacia	156
4.5. INTERCEPTAÇÃO PELA COPA	158
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	167
5.1. CONCLUSÕES.....	167
5.2. RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS..	169

REFERÊNCIAS	171
APÊNDICE A – MEDIDAS E ESTIMATIVAS.....	185
APÊNDICE B – ADVERSIDADES DO MONITORAMENTO EM CAMPO.....	193

1. INTRODUÇÃO

A chuva incidente em uma bacia florestal é naturalmente fracionada em três parcelas: parte dela é interceptada e armazenada pela vegetação ou pela serrapilheira, e evapora durante ou após o evento; outra parte cai livremente sobre o solo, sem interferência da vegetação, ou depois de ser interceptada e gotejar; e a terceira parte alcança o solo escorrendo pelos troncos, após ser interceptada.

Assim, interceptação é o primeiro processo pelo qual a água da chuva passa na bacia hidrográfica. Esse processo redistribui a água da chuva e regula a disponibilidade de água para o solo. Segundo Savenije (2004), seu desprezo e/ou o erro na sua estimativa podem introduzir erros na modelagem chuva-vazão. Se grande parte do sucesso da modelagem chuva-vazão depende das condições antecedentes de umidade, o primeiro passo deve ser a separação da chuva em duas parcelas: a que contribui para a umidade do solo da bacia, e a que não contribui (SAVENIJE, 2004). A Organização Mundial de Meteorologia (WMO, 2008) afirma que, apesar da interceptação ser negligenciada na maioria dos estudos de chuvas intensas e inundações, em estudos de balanço hídrico esse processo hidrológico pode ser muito significativo.

A água interceptada na superfície da vegetação é a porção de água da bacia que está mais disponível para evaporação (HEWLETT, 1982). Em termos de balanço hídrico, o volume da interceptação não é desprezível. Por exemplo, na floresta amazônica os registros de perdas por interceptação pela copa variam de 2% (GERMER et al., 2006) até 25% da chuva (CUARTAS et al., 2007). Em regiões de clima temperado, há registros de até 36% da chuva interceptada pela copa (OYARZUN et al., 2011). Ainda, Savenije (2004) argumenta que em climas quentes, a evaporação da água interceptada é uma parcela significativa da evaporação total.

Os estudos com medição da interceptação em florestas nativas brasileiras são poucos, realizados predominantemente na região Amazônica (CUARTAS et al., 2007; FERREIRA et al., 2005; FRANKEN et al., 1992; LEOPOLDO et al., 1987; MOURA et al., 2009) ou em Mata Atlântica (ARCOVA et al., 2003; BRITZ et al., 1998; CICCIO & ARCOVA, 1998; NALON & VELLARDI, 1992; OLIVEIRA et al., 2008). Entre os ecossistemas da Mata Atlântica, existem estudos de interceptação em Floresta Ombrófila Densa, Floresta Seca, Floresta Paludosa e Floresta Estacional Semidecidual. Em Floresta Ombrófila Mista, Thomaz (2005) mediu chuva interna em parcelas de

FOM em estágios iniciais de regeneração (capoeirão e faxinal). Entretanto, por não incluir medidas de escoamento de tronco, esse estudo é insuficiente para a estimativa de interceptação, o que implica uma lacuna no conhecimento do papel dessa floresta na redistribuição de chuvas.

O planalto norte catarinense tem a sua história fortemente vinculada à extração de madeira, que desde o início da colonização da região resultou na supressão de grande parte da vegetação natural, a Floresta Ombrófila Mista (FOM). Atualmente, a indústria moveleira e as atividades de reflorestamento ainda estão entre as principais atividades econômicas da região, e a FOM tem sido substituída por florestas plantadas de pinus. Pinheiro et al. (2010) observaram que a substituição de FOM por plantios de pinus afeta o escoamento superficial. A expectativa é de que o norte/nordeste catarinense seja a região metropolitana brasileira com maior crescimento econômico durante as duas próximas décadas (KROEHN, 2011). Portanto, o desenvolvimento econômico da região exerce e continuará exercendo grande pressão sobre os recursos hídricos e a FOM.

O Laboratório de Hidrologia (LabHidro) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) vem desenvolvendo pesquisas no planalto norte catarinense no intuito de elucidar os processos hidrológicos e hidrossedimentológicos nesta região, assim como a influência do uso e cobertura do solo nesses processos. Entre essas pesquisas, Chaffe (2009), Santos (2009) e Mota (2012) estudaram os processos hidrológicos (interceptação, dinâmica da água no solo e tempo de concentração, respectivamente) em bacias experimentais na região. Uda (2010) estudou a evapotranspiração na região. Giglio (2010) e Goerl (2010) estudaram as inundações urbanas no município de Rio Negrinho. Lino (2009), Maciel (2010), Malutta (2010) e Grandó (2011) investigaram os processos hidrossedimentológicos na região. Ao estudar a interceptação em uma pequena bacia reflorestada no planalto norte catarinense, Chaffe (2009) mostrou que desconsiderar a interceptação piora o desempenho da modelagem chuva-vazão com Tank Model. O autor colocou a necessidade de se estudar interceptação também em floresta nativa da região. Mota (2012) instalou uma bacia experimental em FOM, e verificou que nessa bacia, o tempo de concentração não tem correlação com as características da chuva, e sim com o índice de precipitação antecedente e a vazão de pico; sugerindo que as perdas por interceptação podem ser responsáveis por esse comportamento.

Depois dos estudos de Chaffè (2009) e Mota (2012), surgiram alguns questionamentos. Quanto da chuva é interceptada numa FOM? Como é a interceptação numa FOM: homogênea, heterogênea, sazonal? Quem rege a interceptação numa FOM: a chuva, a vegetação, ambos? A partir dessas perguntas, a presente Dissertação de Mestrado investiga os processos de interceptação da água da chuva em uma pequena bacia coberta por Floresta Ombrófila Mista, no município de Rio Negrinho, planalto norte catarinense.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Compreender os processos de interceptação da chuva em uma pequena bacia coberta por Floresta Ombrófila Mista, localizada em Rio Negrinho, SC.

1.1.2. Objetivos específicos

- Quantificar a chuva interna, o escoamento de tronco e a interceptação na bacia experimental;
- Verificar a relação entre os componentes da interceptação (chuva interna e escoamento de tronco) e as características da chuva;
- Verificar a relação entre a chuva interna e a cobertura florestal;
- Analisar a variabilidade da chuva interna e da cobertura florestal.

1.2. JUSTIFICATIVA

Na ciência, existe uma discussão sobre a influência das florestas no ciclo hidrológico (BOSCH & HEWLETT, 1982; MCCULLOCH & ROBINSON, 1993; ANDRÉASSIAN, 2004). Nessa discussão, procura-se compreender, entre outras questões, o papel da floresta na redistribuição temporal e espacial das chuvas na bacia hidrográfica. O processo responsável por essa redistribuição é a interceptação. Existem estudos sobre a interceptação em diversos tipos de floresta, principalmente em florestas plantadas de pinheiro ou eucalipto, em florestas de clima temperado (coníferas e decíduas) e em florestas tropicais. Entretanto, são raros os estudos de interceptação em florestas mistas, com características de florestas tropicais e temperadas. Em Floresta Ombrófila Mista (FOM) esse processo ainda é desconhecido.

Portanto, esta Dissertação pretende contribuir com o conhecimento científico sobre a FOM provendo informações sobre os mecanismos da redistribuição de chuvas nessa floresta. Resultados deste trabalho, tais como as relações entre a chuva interna e a chuva externa; entre o escoamento de tronco e as características da vegetação; as variações do índice de cobertura do dossel com as estações do ano, entre outros, podem ser generalizados para outras florestas mistas, e para florestas de vegetação densa e heterogênea, contribuindo assim para a discussão científica sobre a influência das florestas no ciclo hidrológico.

O bioma Mata Atlântica e seus ecossistemas associados cobriam, originalmente, 13% do território brasileiro (RIBEIRO et al., 2009; SFB, 2010). Entretanto, com a urbanização do litoral do país, o bioma foi reduzido a menos de 0,3% de sua área original e muitas de suas espécies estão ameaçadas de extinção. Ainda assim, a Mata Atlântica ainda abriga parcela significativa da biodiversidade do Brasil. Entre as diferentes formações florestais que constituem o bioma, a Floresta Ombrófila Mista (FOM), mais conhecida como mata de araucárias, ocorre nos planaltos da região Sul, a oeste da Serra do Mar (SFB, 2010). Atualmente, estima-se que os remanescentes da FOM no Brasil ocupam entre 3% (BRASIL, 2002) e 12,6% (RIBEIRO et al., 2009) da área original, e que apenas 0,7% são de matas primárias (BRASIL, 2002). Os remanescentes da FOM apresentam alto grau de biodiversidade e endemismo, e estão ameaçados pelo grande potencial econômico das espécies que o caracterizam, tais como a araucária e a erva-mate (BRASIL, 2002).

A importância da conservação dos remanescentes da Mata de Araucária, assim como das outras formações florestais da Mata Atlântica, é reconhecida pela legislação brasileira, que determina a proteção desses ambientes (BRASIL, 2006; BRASIL, 2008). Ainda, a Lei nº 11.428/06 determina que a proteção e a utilização da Mata Atlântica deve assegurar a manutenção não só da biodiversidade, flora e fauna, mas também do regime hídrico do bioma:

Art. 7º A proteção e a utilização do Bioma Mata Atlântica far-se-ão dentro de condições que assegurem:

I - a manutenção e a recuperação da biodiversidade, vegetação, fauna e regime hídrico do Bioma Mata Atlântica para as presentes e futuras gerações;

(...)

Lei 11.428/96 (BRASIL, 2006, p.1)

Para manter e recuperar, primeiro é preciso conhecer. No entanto, são raros os estudos sobre o regime hídrico da FOM e, ainda mais, sobre a interceptação da água da chuva nessa floresta. Como podemos promover a manutenção e recuperação do regime hídrico da FOM se nem ao menos o conhecemos? Esta Dissertação oferece informações sobre o regime hídrico da FOM, especialmente sobre a interceptação da água da chuva. Com a melhor compreensão do papel da FOM para as bacias hidrográficas e para os recursos hídricos, espera-se que a sociedade e o poder público tenham maior consciência da importância de proteger os remanescentes dessa floresta, e mais subsídios para buscar essa proteção.

Do ponto de vista da gestão dos recursos hídricos, a interceptação é considerada uma “perda”: a água interceptada evapora e não fica disponível para o aproveitamento humano. Ao desconsiderar as perdas por interceptação na estimativa da vazão de um curso de água inserido em uma bacia com floresta, corre-se o risco de se superestimar a vazão, ocasionando um conflito na gestão desse recurso e seus usos múltiplos. Tenha-se como exemplo a gravidade de superestimar a capacidade de um manancial para abastecer uma população ou uma atividade; ou o potencial hídrico de um curso de água para produção de energia. Para uma gestão de recursos hídricos adequada é necessário, portanto, que se tenha uma estimativa da importância quantitativa dessa perda, i.e., da interceptação na bacia hidrográfica em questão.

Esta Dissertação oferece informações sobre a influência da Floresta Ombrófila Mista na redistribuição da chuva, tais como: a importância quantitativa da interceptação para a bacia hidrográfica; a heterogeneidade do processo em pequenas bacias; a variação da cobertura florestal com as estações do ano; e parâmetros de armazenamento da copa. Essas informações possibilitam a consideração da interceptação na modelagem chuva-vazão em bacias hidrográficas com FOM para, por exemplo, melhorar as estimativas de vazão de um manancial ou avaliar o impacto para os recursos hídricos de alterações no uso do solo da bacia.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. INTERCEPTAÇÃO

A interceptação é o processo hidrológico que, na cadência do ciclo hidrológico, vem logo em seguida da precipitação. É o processo de interferência dos obstáculos presentes na superfície terrestre – principalmente a vegetação, na hidrologia florestal, e construções, na hidrologia urbana – no trajeto da água precipitada, antes desta alcançar o solo. Numa floresta, uma parcela da água interceptada fica retida nas folhas, galhos e troncos para evaporar em seguida ou ser armazenada e evaporar mais tarde. Outra parcela da água escoia pelos troncos ou goteja e alcança o solo com certo atraso, e infiltra ou contribui para o escoamento superficial. Para fins de aproveitamento de recursos hídricos, o interesse está geralmente voltado para o escoamento superficial e, portanto, a parcela de água interceptada e que não alcança o solo é chamada de “perda por interceptação”.

O primeiro hidrólogo a discutir detalhadamente o processo da interceptação foi Horton (1919), que definiu a interceptação como o armazenamento da água da chuva que estaria disponível para o solo, caso não fosse interceptada; e o total interceptado como a soma da capacidade de armazenamento na vegetação e as perdas por evaporação durante o evento de chuva. Apesar de não incluir explicitamente a chuva interna e o escoamento de tronco na definição de interceptação, Horton (1919) mediu esses dois processos para estimar as perdas por interceptação.

A partir das ideias sugeridas por Horton (1919), os hidrólogos foram desenvolvendo o conceito de interceptação, mas não chegaram a um consenso. Quase meio século depois da publicação desse trabalho, Helvey & Patric (1965) comentaram que entre os hidrólogos existia confusão quanto à definição de interceptação. Para exemplificar, os autores mencionam as seguintes definições: de Kittredge (1948¹, citado por HELVEY & PATRIC, 1965), que pode incluir ou não o escoamento de tronco no cálculo das perdas por interceptação da copa; de Colman (1953², citado por HELVEY & PATRIC, 1965) e de Hoover (1962³,

¹ KITTREDGE, J. **Forest Influences**. New York: McGraw-Hill Book Co, 1948. 394p.

² COLMAN, E. A. **Vegetation and Watershed Management**. New York: Ronald Press, 1953. 412 p.

citado por HELVEY & PATRIC, 1965), que incluem nas perdas por interceptação a água retida não só pela copa como também pela serrapilheira e, portanto, indisponível ao solo; e de Hamilton & Rowe (1949), que chamam de “total de perdas por interceptação” a soma das perdas por interceptação na copa e na serrapilheira, e consideram o escoamento de tronco no cálculo da interceptação da copa. Esta é a definição adotada por Helvey & Patric (1965), e depois utilizada em muitos trabalhos seguintes.

Entretanto, ainda hoje existe confusão quanto ao conceito de interceptação. Exemplos mais recentes que os apresentados anteriormente mostram que esse conceito ainda não está unificado. Calder⁴ (1990, citado por SAVENIJE, 2004) tratou a interceptação como uma perda, definida como a diferença entre chuva total e chuva interna. Singh (1992) considerou a interceptação como um armazenamento, que definiu como a parcela da água da chuva que fica retida na bacia hidrográfica através da aderência em folhas, animais, construções, depressões, e outros elementos sobre a superfície terrestre. Savenije (2004) criticou a definição de Calder (1990, citado por SAVENIJE, 2004) e defende uma definição mais ampla de interceptação, isto é, o processo de rápida retroalimentação de umidade para a atmosfera, dentro de um intervalo de tempo de cerca de um dia. Na definição de Savenije (2004), a interceptação inclui toda a parcela da chuva capturada antes de integrar a drenagem da bacia ou os processos sub-superficiais. Em termos quantitativos, essa definição proporciona maiores volumes de interceptação que os constantes na literatura, já que a água evaporada das superfícies úmidas (rochas, solo, serrapilheira, estradas e construções) se soma à água capturada pelas copas para integrar a interceptação.

Neste trabalho, pensa-se a interceptação como o processo de interferência da vegetação na água da chuva, alterando seu trajeto até o solo. Ao longo desse novo trajeto, mais complexo e demorado, parte da água evapora ou fica retida na vegetação, e não alcança o solo. A essa parcela daremos o nome de “perdas por interceptação”, definida como a diferença entre a chuva externa e a soma da chuva interna com o escoamento de tronco. Tratando-se este um trabalho primordialmente de monitoramento e estimativa da interceptação em campo, optou-se por

³ HOOVER, M. Water action and water movement in the forest. In: **Forest Influences**, FAO Forestry and Forest Products Studies 15. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations, 1962.

⁴ CALDER I.R. **Evaporation in the uplands**. Chichester: John Wiley & Sons, 1990.

não adotar as mais atuais definições de interceptação, como as de Singh (1992) e Savenije (2004), por limitações na quantificação dos micro-processos contidos nessas definições.

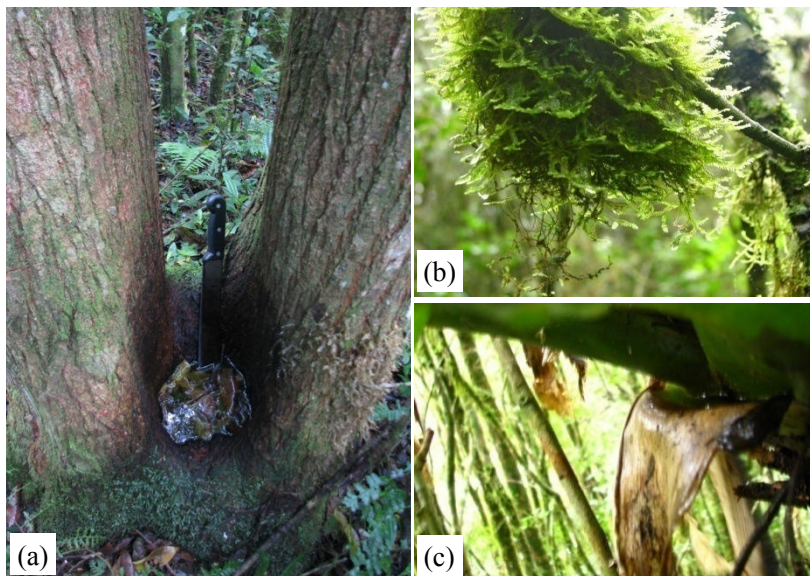


Figura 1. Exemplos de armazenamento de água pelos elementos da vegetação na Bacia Experimental do rio Araponga: (a) um tronco bifurcado formando um “poço”; (b) musgo encharcado e gotejando; (c) detalhe de uma bromélia com água acumulada entre as folhas.

2.1.1. Importância da interceptação

Em termos de balanço hídrico, o volume da interceptação não é desprezível. Calder (1990, citado por SAVENIJE, 2004) mostrou que em bacias florestadas da Grã-Bretanha as perdas por interceptação correspondem a 35% da chuva anual, em áreas onde esta é maior que 1000 mm/ano, e 40 a 50% em áreas onde a chuva anual é de 500 a 600 mm/ano. Resultados semelhantes foram encontrados por Oyarzún et al. (2011), que contabilizaram perdas por interceptação de até 36% da chuva em florestas chilenas. Em florestas de clima quente e úmido, essa proporção varia de 2% (GERMER et al., 2006) até 25% da chuva (CUARTAS et al., 2007).

Ainda, a água interceptada na superfície da vegetação é a porção de água da bacia que está mais disponível para evaporação (HEWLETT, 1982). A evaporação da água interceptada nas copas com folhas rugosas é bastante eficiente e é um componente significativo do balanço hídrico em alguns ambientes (BEVEN, 2001). Em climas quentes, a evaporação da água interceptada é uma parcela significativa da evaporação total (SAVENIJE, 2004). De Groen (2002) mostrou que, em meses úmidos e em anos muito secos, a interceptação tende a ser predominante sobre a transpiração na constituição da evaporação. Savenije (2004) explica esse comportamento devido à limitação que a pouca radiação solar impõe sobre a transpiração nos meses mais chuvosos, e à pouca disponibilidade de água no solo nos anos muito secos.

Do ponto de vista da modelagem chuva-vazão, já em 1919 Horton afirmou que a interceptação não pode ser desconsiderada na estimativa da produção de água de uma bacia. Afirmou também que, embora as perdas oriundas da interceptação estejam geralmente incluídas na contabilidade das perdas totais de água, raramente são estimadas separadamente. Entretanto, sua estimativa melhoraria muito os resultados do balanço hídrico (HORTON, 1919). Savenije (2004) apresenta mais um argumento: é sabido que grande parte do sucesso da modelagem de eventos depende das condições antecedentes de umidade e da distribuição da umidade no solo. Então é evidente que o passo mais importante é a separação da chuva em duas parcelas: a que contribui para a umidade do solo da bacia, e a que não contribui. Portanto, o desprezo ou o erro na estimativa da interceptação automaticamente introduzem erro na modelagem chuva-vazão (SAVENIJE, 2004).

2.1.2. Fatores influenciadores

A interceptação é influenciada principalmente por dois grupos de fatores: (i) relativos ao clima e às condições meteorológicas; e (ii) relativos à vegetação (HORTON, 1919; HEWLETT, 1982; SINGH, 1992).

Entre os fatores climáticos e meteorológicos, Horton (1919) verificou os efeitos da intensidade e duração da chuva e da velocidade do vento. Hewlett (1982) acrescentou a quantidade de eventos de chuva e o tempo decorrido entre eles. Singh (1992) complementou mencionando o volume de chuva, o tamanho da gota, o tipo de chuva (convectiva ou frontal) e a estação do ano.

Quanto aos fatores relativos à vegetação, Horton (1919) comentou que a capacidade de retenção de água pela vegetação está relacionada com a forma e inclinação das folhas, e as tensões superficiais entre a superfície destas e a água. Hewlett (1982) mencionou a influência da porcentagem de cobertura da copa, o índice de área foliar, a quantidade de serrapilheira, e a estrutura da vegetação, a natureza das superfícies (rugosidade, molhabilidade), e as características sazonais da vegetação (decíduas ou perenes). Singh (1992) citou a espécie, idade, densidade e saúde da vegetação.

2.1.3. Estimativa de interceptação em florestas

Segundo Hewlett (1982), para a estimativa das perdas por interceptação fraciona-se o total das perdas em duas parcelas:

$$I = I_c + I_s \quad (2.1)$$

onde I é o total de perdas por interceptação; I_c é a perda por interceptação pela copa; e I_s é a perda por interceptação pela serrapilheira.

A medição da perda por interceptação pela serrapilheira (I_s) é simples e direta: se resume a coletar e pesar amostras do chão florestal. A diferença entre o peso úmido e o peso seco é a parcela da chuva interceptada pelo chão da floresta (HELVEY & PATRIC, 1965). Entretanto, Putuhena & Cordery (1996) consideram que o chão da floresta armazena a água da chuva não só na serrapilheira, mas também na vegetação rasteira (gramíneas e ervas). Com essa distinção entre serrapilheira e chão florestal, a Eq. 2.1 fica incompleta e deveria ser reescrita como:

$$I = I_c + I_{ch} \quad (2.2)$$

onde I_{ch} é a perda por interceptação pelo chão da floresta, definida como:

$$I_{ch} = I_s + I_r \quad (2.3)$$

onde I_r é a perda por interceptação pela vegetação rasteira.

A medição das perdas por interceptação pela vegetação rasteira não pode ser medida diretamente como a parcela interceptada pela serrapilheira. Ainda, a contribuição da vegetação rasteira no total das perdas por interceptação é muito menor que a contribuição da serrapilheira. Assim, a parcela I_r é frequentemente desconsiderada e a Eq. 2.1 é utilizada, considerando I_s equivalente a I_{ch} .

A medição das perdas por interceptação pela copa é mais complexa e indireta que a medição das perdas por interceptação pela serrapilheira. Realiza-se através da medição da chuva total, chuva interna e do escoamento de tronco:

$$I_c = P - (Tf + Sf) \tag{2.4}$$

onde P é a chuva total; Tf é a chuva interna (*throughfall*); e Sf é o escoamento de tronco (*stemflow*). Portanto, a perda por interceptação tal qual é medida em campo pode ser representada por:

$$I = P - Tf - Sf + I_s \tag{2.5}$$

A Figura 2 ilustra os processos de interceptação da chuva na floresta.

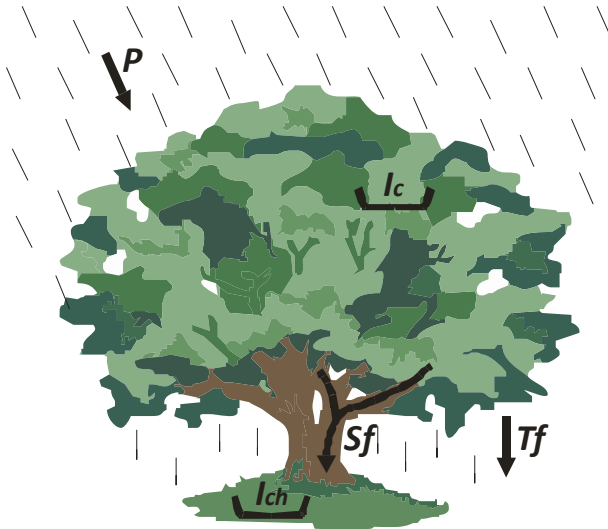


Figura 2. Parcelas do processo de interceptação. P é chuva externa, Tf é chuva interna, Sf é escoamento de tronco, I_c é interceptação pela copa; e I_{ch} é interceptação pelo chão da floresta.

A chuva total é medida da forma tradicional: com pluviômetros instalados em uma área aberta próxima à bacia, em uma clareira, ou acima das copas. A chuva interna pode ser coletada e medida com pluviômetros instalados no interior da floresta, abaixo da copa das árvores. O escoamento de tronco pode ser coletado com colares ou espirais fixados ao redor dos troncos, que direcionam o fluxo para um recipiente de armazenamento.

Existem iniciativas para medição da interceptação desde, pelo menos, 1893 (HORTON, 1919). Horton (1919) mencionou a existência de “uma grande quantidade de dados acumulados” sobre interceptação e citou, entre outros, um estudo do U.S. Service datado de 1893.

Apesar da importância da interceptação para o balanço hídrico das bacias hidrográficas, Hewlett (1982) sugeriu que as informações existentes até então não eram suficientes para a compreensão do processo, portanto, este deveria ser medido em diferentes regiões, climas e tipos de floresta. Desde então, houve esforços para medição de interceptação em diversos países. As Tabelas 1 a 4 apresentam alguns estudos com medição de interceptação já realizados em diversas regiões climáticas.

Os estudos com medição da interceptação em florestas nativas brasileiras são poucos, e concentrados na região Amazônica ou em Mata Atlântica (GIGLIO & KOBIYAMA, 2013).

No domínio da Mata Atlântica, em vegetação Estacional Semidecidual secundária, Castro et al. (1983) quantificaram a chuva interna e o escoamento de tronco em parcelas na Estação Experimental Mata do Paraíso – MG. No mesmo local, realizaram também estudos de interceptação: Oliveira Jr. & Dias (2005), Alves et al. (2007) e Souza et al. (2007). O conjunto desses estudos oferece algumas características da interceptação nessa vegetação: a chuva interna, o escoamento de tronco e as perdas por interceptação da copa correspondem a cerca de 80%, 0,8–3% e 16–18% da chuva externa, respectivamente; o escoamento de tronco tem início a partir de 8 mm de chuva, e aumenta até 40 mm de chuva, quando se torna constante. Também em Floresta Estacional Semidecidual secundária, Shinzato et al. (2011) estudaram escoamento de tronco, e observaram um limite mínimo de 6,6 mm de chuva para o início do escoamento de tronco.

Ainda na Mata Atlântica, em Floresta Ombrófila Densa secundária, a Serra do Mar concentra alguns estudos de interceptação: Arcova e Cicco estudaram esse processo nas bacias experimentais do Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich (ARCOVA & CICCIO, 1987; CICCIO & ARCOVA, 1998; ARCOVA et al., 2003; CICCIO et al., 2007); Cesar et al. (1990) e Nalon & Vellardi (1992) realizaram estudos no Parque Estadual da Serra do Mar; ainda na Serra do Mar, Timoni (1992) comparou a chuva interna em dois fragmentos florestais: um degradado pela poluição atmosférica e um preservado. Alguns dos resultados desses estudos são: a chuva interna, o escoamento de tronco e as perdas por interceptação da copa correspondem a cerca de

80–97%, 0,3–1% e 8–18% da chuva externa, respectivamente; o percentual de chuva interna cresce com a chuva; o escoamento de tronco tem início após 4,5 mm de chuva; os percentuais de perdas por interceptação são menores nos períodos mais chuvosos e maiores nos períodos menos chuvosos, devido ao comportamento da chuva interna. Também em Floresta Ombrófila Densa, Moura et al. (2009) mediram chuva interna e escoamento de tronco em fragmento de floresta em Recife-PE.

Em vegetação litorânea da Mata Atlântica, Britez et al. (1998) mediram chuva interna em Floresta seca e Floresta Paludosa na Ilha do Mel-PR. Souza & Marques (2010) mediram chuva interna na Floresta Estadual do Palmito e observaram que as proporções desse mecanismo são menores quanto maior o estágio de regeneração da floresta.

Finalmente, ainda no domínio da Mata Atlântica, em Floresta Ombrófila Mista, Thomaz (2005) mediu chuva interna em capoeirão com 7 anos de regeneração e em mata secundária caracterizada por faxinal. Esse único estudo, que não inclui medição do escoamento de tronco, é insuficiente para o conhecimento do papel dessa floresta na redistribuição de chuvas.

Entre os estudos de interceptação realizados nos diferentes ecossistemas do bioma Mata Atlântica, muitos realizaram medições de chuva interna, mas não de escoamento de tronco (COELHO NETTO et al., 1986; TIMONI, 1992; BRITTEZ et al., 1998; THOMAZ, 2005; SHEER, 2009; SOUZA & MARQUES, 2010). Poucos dos estudos em Mata Atlântica foram realizados em bacias experimentais, em combinação com monitoramento hidrológico (CICCO & ARCOVA, 1998; ARCOVA et al., 2003). Ainda, os estudos mencionados não estimaram os parâmetros: proporção de cobertura florestal, capacidade de armazenamento da copa, proporção de água desviada da copa para o tronco, capacidade de armazenamento do tronco, e relação entre taxa de evaporação de tronco e taxa de evaporação de copa. Esses parâmetros são necessários para a modelagem da interceptação com os modelos de Rutter (RUTTER et al., 1971) e Gash (GASH, 1979; GASH et al., 1995) e suas modificações. Portanto, a modelagem da interceptação em florestas do bioma Mata Atlântica ainda carece dessas informações.

Ainda no Brasil, Santos (2009) monitorou e Chaffe et al. (2010) modelaram a interceptação em uma bacia experimental (10,2 ha) no planalto norte catarinense, reflorestada com *Pinus taeda* de 30 anos. Com os resultados do monitoramento e modelagem, Chaffe et al. (2010) puderam estimar os seguintes parâmetros do processo de interceptação:

proporção de cobertura florestal, capacidade de armazenamento da copa, proporção de água desviada da copa para o tronco, capacidade de armazenamento do tronco, e relação entre taxa de evaporação de tronco e taxa de evaporação de copa.

Tabela 1. Síntese de experimentos de interceptação em regiões de clima equatorial. (continua)

Local	Vegetação	Escala/Duração	Resultados e observações ¹	Autor (ano)
Bacia Asu, Reserva Biológica Cuieiras/Brasil (AM)	Floresta amazônica, primária	Bacia (6,6 km ²); 2 anos	$Tf = 77-86\%$; $Sf = 0,6\%$; $I_c = 13-23\%$; Estação úmida: $I_c = 13-21\%$; Estação seca: $I_c = 12-25\%$.	Cuartas et al. (2007)
Estação de Manejo Florestal do INPA/Brasil (AM)	Floresta amazônica, primária	Parcelas (4 ha); 14 meses	$Tf = 80,8\%$	Ferreira et al. (2005)
	Floresta amazônica, com extração seletiva de madeira		$Tf = 91\%$	
Estação de pesquisa da Embrapa - Amazônia Ocidental/Brasil (AM)	<i>Eschweilera</i> e <i>Oenocarpus</i> , de floresta primária	Indivíduo; 1 ano	Tf e Sf na agrofloresta parecidos com floresta primária próxima; redistribuição da água da chuva diferente em palmeiras e dicotiledôneas; plantação de pupunha e pousio têm maiores contribuições de Sf para o solo.	Schroth et al. (1999)
	Pousio	Parcelas (768 a 1536 m ²); 1 ano		
Reserva Florestal Ducke/Brasil (AM)	Floresta amazônica, primária	Parcela; 1 ano	$Tf = 80,2\%$	Franken et al. (1992)
		*	$Tf = 89,3\%$; $Sf = 1,8\%$	Leopoldo et al. (1987)
		Parcela (400 m ²); 1 ano	Análise espacial; sugestões metodológicas: relocação aleatória de coletores.	Lloyd & Marques (1988)
		Parcela (2500 m ²); 5 meses	$Tf = 98,2\%$ devido a vegetação pouco densa	Lopes et al. (2007)
Bacia Modelo do INPA/Brasil (AM)	Floresta amazônica	*	$Tf = 77,7-78,4\%$; $Sf = 0,3\%$	Leopoldo et al. (1987)
Est. Científica Ferreira Penna/Brasil (PA)	Floresta amazônica	Parcela (1 ha); 1 ano	$Tf = 76,8\%$; $Sf = 1,7\%$	Oliveira et al. (2008)

Tabela 1. Síntese de experimentos de interceptação em regiões de clima equatorial. (conclusão)

Local	Vegetação	Escala/Duração	Resultados e observações ¹	Autor (ano)
Igarapé Açu/Brasil (PA)	<i>Phenakospermum guyanense</i> , pousio, 10 anos regeneração	Parcelas (160 m ²); 1,5 ano	<i>Sf</i> muito maior que os registrados na Amazônia, devido ao formato da <i>P. guayanense</i> , semelhante a uma bananeira	Hölscher et al. (1998)
	Pousio, 2,5 anos de regeneração		<i>Sf</i> muito maior que os registrados na Amazonia, devido à morfologia da copa da <i>Banara guianensis</i> , com galhos inclinados	
Reserva Vale do Rio Doce/Brasil (PA)	Floresta amazônica	*	<i>Tf</i> = 86,2%; <i>Sf</i> = 0,8%	Ubarana (1996)
Reserva Biológica do Jarú/Brasil (RO)	Floresta amazônica	*	<i>Tf</i> = 87,0%; <i>Sf</i> = 1,4%	Ubarana (1996)
Floresta aberta Rancho Grande/Brasil (RO)	Floresta amazônica	2 meses	<i>Tf</i> = 89,8%; <i>Sf</i> = 7,8%	Germer et al. (2006)
Peña Roja/Colômbia	Floresta amazônica	Parcelas (1000 m ²); 1 ano	<i>Tf</i> = 82–87%; <i>Sf</i> = 0,9–1,5%; <i>I_c</i> = 12–17%	Tobon Marin et al. (2000)
Kuala Belalong Field Studies Centre/Brunei	Floresta tropical	Parcela (1500 m ²); 46 dias	<i>I_c</i> = 18%	Dykes (1997)
Lambir Hills National Park/Malásia	Floresta tropical	Parcela (4 ha); 1 ano	<i>Sf</i> = 3,5%; <i>Tf</i> = 82%; <i>I_c</i> = 14,5%	Manfroi et al. (2004)
Reserva Florestal Pasoh/Malásia	Floresta tropical	Parcela (121 m ²) e transecto (100 m); 3 meses	Fraca correlação <i>Tf</i> (%) e ICD; menores ICD têm grandes percentuais de <i>Tf</i> , mas grandes ICD têm grande variação de percentuais de <i>Tf</i> .	Konishi et al. (2006)

¹ Percentuais em relação à chuva externa; * Informação não oferecida pelos autores; ICD é índice de cobertura do dossel; *I_c* é perda por interceptação pela copa; *P* é chuva externa; *Tf* é chuva interna; *Sf* é escoamento de tronco.

Tabela 2. Síntese de experimentos de interceptação em regiões de clima temperado. (continua)

Local	Vegetação	Escala/Duração	Resultados e observações ¹	Autor (ano)
Lidsdale S.F./ Austrália	Floresta nativa de eucaliptos	Bacia (6,2 ha); 2 anos	$S_{ch} = 1,7$ mm	Putuhena & Cordery (1996)
	Plantação de pinus (15 anos)	Bacia (9,4 ha); 2 anos	$S_{ch} = 2,8$ mm	
Chile	Floresta perene, intacta	Bacia (71,1 ha); 5 anos	Alta correlação entre S_f e DAP; $T_f = 64-80\%$; $S_f = 0,3\%$; $I_c = 20-36\%$	Oyarzún et al. (2011)
	Floresta perene, intacta	Bacia (21,6 ha); 5 anos		
	Floresta perene, com manejo	Bacia (7,5 ha); 5 anos	Alta correlação entre S_f e DAP; $T_f = 80-87\%$; $S_f = 0,3-1\%$; $I_c = 11-20\%$.	
	Floresta perene, com manejo	Bacia (23 ha); 5 anos		
	Floresta decídua, secundária	Bacia (7,4 ha); 5 anos	$T_f = 75\%$; $S_f = 3,4\%$; $I_c = 22\%$	
	Floresta mista, alterada	Bacia (10,6 ha); 5 anos	$T_f = 68\%$; $S_f = 0,5\%$; $I_c = 31\%$	
	Floresta decídua, com manejo	Bacia (13 ha); 5 anos	$T_f = 82\%$; $S_f = 1,5\%$; $I_c = 16,5\%$	
Southeastern Forest Exp. Sta. Asheville/EUA	Floresta decídua	Bacia (2,8 ha); 1 ano	I é 18% (3% I_s e 15% I_c) da P (1732 mm)	Helvey (1964)
Pacific Northwest/EUA	Floresta de coníferas (60 anos)	Parcela; 6 meses	Análise espacial	Keim et al. (2005)
	Floresta de coníferas (600 anos)			
	Floresta decídua			

Tabela 2. Síntese de experimentos de interceptação em regiões de clima temperado. (conclusão)

Local	Vegetação	Escala/Duração	Resultados e observações ¹	Autor (ano)
North Fork Caspar Creek Exp. Watershed/EUA	Floresta costeira, <i>Sequoia</i> e Douglas-fir (120 anos)	Bacia (4,7 km ²); 3 anos	46% de I_c ocorre pós-evento; 54% evapora durante o evento ou é armazenamento de longo prazo.	Reid & Lewis (2009)
Nainital/Himalaia	Floresta de coníferas	Parcela; 4 meses	$I_c = 22\%$ e $I_s = 8,3\%$ da P (1942 mm)	Loshali & Singh (1992)
	Floresta de pinheiros e carvalhos, perene		$I_c = 19\%$ e $I_s = 9,5\%$ da P (1970 mm)	
	Floresta de carvalhos, perene		$I_c = 19,5\%$ e $I_s = 11,5\%$ da P (1984 mm)	
Bacia Exp. Fukuroyamasawa/Japão	Floresta de ciprestes	Indivíduos; 4 anos	Perdas por I num período pode depender mais do número de eventos que do volume de chuva; análise da qualidade da água escoada pela copa, pela copa e pelo tronco, e pelo tronco somente.	Kuraji et al. (2001)
Huewelerbach catchment/Luxemburgo	Floresta caducifólia (faia)	Bacia (2,7 km ²); 1 mês (outono)	I_s (14 mm) é 34% da Tf (42 mm).	Gerrits et al. (2007)
Eastern Sierra Madre/México	Floresta temperada (pinus e carvalho)	Indivíduo e parcela (900 m ²); 1,5 ano	Variações inter- e intra-específica e de escala: indivíduo: $Sf = 0,7-2,5\%$; parcela: $Sf = 2,2\%$	Návar (2011)

¹ Percentuais em relação à chuva externa; DAP é diâmetro do tronco à altura do peito; I é total de perdas por interceptação; I_c é perda por interceptação pela copa; I_s é perda por interceptação pela serrapilheira; P é chuva externa; Tf é chuva interna; Sf é escoamento de tronco; S_{ch} é capacidade de armazenamento do chão da floresta.

Tabela 3. Síntese de experimentos de interceptação em regiões de clima tropical e sub-tropical. (continua)

Local	Vegetação	Escala/Duração	Resultados e observações ¹	Autor (ano)
Estação Experimental Mata do Paraíso/ Brasil (MG)	Estacional Semidecidual, secundária	Parcelas (400 a 600 m ²); 6 meses a 1 ano	Área basal 1,22 m ² : $I_c = 20,6\%$; $Tf = 79,0\%$; $Sf = 0,4\%$	Alves et al. (2007)
			Área basal 3,28 m ² : $I_c = 18,4\%$; $Tf = 80,8\%$; $Sf = 0,8\%$	
			A densidade da copa explicou parcialmente o comportamento da I entre as 3 parcelas; os volumes de Sf ficam constantes a partir de 40 mm de chuva externa.	Castro et al. (1983)
			Sf inicia a partir de $Tf = 7,9$ mm	Oliveira Jr. & Dias (2005)
			$Tf = 80,7\%$; $Sf = 3,3\%$; $I_c = 16\%$	Souza et al. (2007)
Bacia experimental, campus da UFMG/ Brasil (MG)	Estacional Semidecidual com Cerrado, secundária	Parcela (100 m ²); 1,5 ano	Influência da magnitude da chuva na I_c	Vieira & Palmier (2006)
Seropédica/Brasil (RJ)	<i>Acacia mangium</i>	Parcelas (2500 m ²); 5,5 meses	Sf muito maior nas Acácias devido à porcentagem de folhas verdes e altura da copa.	Balieiro et al. (2007)
	<i>Eucalyptus grandis</i>			
	<i>Pseudosamanea guachapele</i>			
	<i>Pseudosamanea guachapele</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>			

Tabela 3. Síntese de experimentos de interceptação em regiões de clima tropical e sub-tropical. (continuação)

Local	Vegetação	Escala/Duração	Resultados e observações ¹	Autor (ano)
Maciço da Tijuca/Brasil (RJ)	Floresta plantada com espécies de Mata Atlântica	Parcela (100 m ²); 1 ano	i) I_c tende a aumentar nos períodos menos chuvosos e decrescer nos períodos de chuvas intensas; ii) ocorrência de registros pontuais de Tf maior que P ; iii) o tamanho das gotas é maior sob as copas que na P ; iv) o Sf nem sempre é completo, i.e., a água pode gotejar continuamente a partir de galhos convergentes; v) as observações (iii) e (iv) justificam a (ii).	Coelho Netto et al. (1986)
Vale do rio Paraíba do Sul/Brasil (RJ)	<i>Eucalytus grandis</i> x <i>urophylla</i> , híbrido	Parcela (50 m ²); 1,8 ano	Nos eucaliptos, a Tf se concentra nas proximidades dos troncos.	Sato et al. (2011)
Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich/Brasil (SP)	Mata Atlântica, secundária	Bacia (36,7 e 56 ha); 6 meses a 1 ano	Maiores percentuais de I_c no período pouco chuvoso. Anual: Tf = 81,2%; Sf = 0,2%. Mensal: Tf = 53,6–88,2%; Sf = 0–0,3%. Tf (%) cresce com a chuva; Sf só começa após 4,5 mm de chuva.	Cicco & Arcova (1998); Arcova et al. (2003); Cicco et al. (2007)
	<i>Araucaria angustifolia</i> , 29 anos	Parcela (600 m ²); 4 meses	I_c tende a decrescer com o aumento da chuva.	Sousa et al. (2009)
Mogi-Guaçu/Brasil (SP)	<i>Eucalyptus grandis</i> , 2-3 anos	Parcela; 1 ano	I_c = 13,7%; Tf = 78,2%; Sf = 8,1%	Andrade et al. (1995)
Cubatão, Parque Estadual da Serra do Mar/Brasil (SP)	Mata Atlântica, secundária	1 ha; 1 ano	Período chuvoso: Tf = 76% e Sf = 0,5%; Período pouco chuvoso: Tf = 70,7% e Sf = 0,5%; Período muito chuvoso: Tf = 97,4% e Sf = 0,3%.	Cesar et al. (1990)
Cubatão, Parque Estadual da Serra do Mar/Brasil (SP)	Mata Atlântica, secundária	*	Menor proporção de I_c nos períodos mais chuvosos; e maior I_c nos períodos menos chuvosos. Comportamento regido pela Tf .	Nalon & Vellardi (1992)

Tabela 3. Síntese de experimentos de interceptação em regiões de clima tropical e sub-tropical. (continuação)

Local	Vegetação	Escala/Duração	Resultados e observações ¹	Autor (ano)
Cubatão/Brasil (SP)	Mata Atlântica, degradada	1 ano	<i>Tf</i> tem forte correlação linear com <i>P</i> ; $Tf = 65,5\%$ na floresta preservada e $72,2\%$ na floresta degradada.	Timoni (1992)
	Mata Atlântica, secundária			
Floresta Estadual de Assis/Brasil (SP)	Plantio, <i>Anadenanthera falcata</i>	Parcela; 5 a 8 meses	<i>I_c</i> não está diretamente relacionada com a biomassa da floresta porque foi maior no plantio de <i>T. guianensis</i> que no plantio de <i>P. elliotii</i> , cuja biomassa é maior.	Gênova et al. (2007)
	Plantio, <i>Pinus elliotii</i>			
	Plantio, <i>Tapirira guianensis</i>			
	Plantio, espécies de mata ciliar de Cerrado			
Fazenda Experimental São Manuel/Brasil (SP)	Mata Ciliar em Cerradão	Parcela (600 m ²); 1 ano	<i>Sf</i> só tem início a partir de 4,2 mm de chuva externa. Muitas trepadeiras e árvores com cascas grossas e rugosas, desfavorecendo o <i>Sf</i> .	Lima & Leopoldo (2000)
Cia. Agro Florestal Monte Alegre/Brasil (SP)	Cerradão	Parcelas; 1 ano	<i>Tf</i> é maior em vegetação de cerradão que nos plantios de pinus; e muito semelhante entre os dois plantios de espécies diferentes de pinus.	Lima & Nicolielo (1983)
	Plantio, <i>Pinus caribaea</i> , 13 anos			
	<i>Pinus oocarpa</i> , 13 anos			

Tabela 3. Síntese de experimentos de interceptação em regiões de clima tropical e sub-tropical. (continuação)

Local	Vegetação	Escala/Duração	Resultados e observações ¹	Autor (ano)
Campus da ESALQ/Brasil (SP)	<i>Eucalyptus saligna</i> , 6 anos	Parcelas (0,1 ha); 2 anos	<i>I_c</i> e <i>Sf</i> maiores no plantio de eucalipto; <i>Tf</i> maior no plantio de pinus.	Lima (1976)
	<i>Pinus caribaea</i> , 6 anos			
José Bonifácio/Brasil (SP)	Seringueiras, 15 anos	Parcela (480 m ²); 1 ano	Alta % de <i>Sf</i> atribuída a: plantação homogênea e com dossel simples, e os troncos das seringueiras serem lisos.	Rodrigues (2009)
FLONA Ipanema/Brasil (SP)	Estacional Semidecidual, secundária	Parcelas (300 m ²); 5 meses	<i>Sf</i> se inicia após chuva externa de 11,0 mm, 6,6 mm e 8,2 mm na Floresta Estacional Semidecidual, <i>E. cloeziana</i> e <i>Pinus sp.</i> , respectivamente.	Shinzato et al. (2011)
	<i>Eucalyptus cloeziana</i> , 15 anos			
	<i>Pinus sp.</i> , 12 anos			
Mara de Dois Irmãos/Brasil (PE)	Mata Atlântica, primária	Parcela (3000 m ²); 8 meses	Eventos com <i>Tf</i> maior que chuva externa; chuvas do mesmo tamanho mas em épocas distintas foram redistribuídas diferentemente.	Moura et al. (2009)
Floresta Estadual do Palmito/Brasil (PR)	Mata Atlântica Litorânea, 22 anos	Pontual; 4 anos	<i>Tf</i> menor quanto maior o estágio de regeneração da floresta.	Souza & Marques (2010)
	idem, 35 anos			
	idem, mais de 60 anos			

Tabela 3. Síntese de experimentos de interceptação em regiões de clima tropical e sub-tropical. (conclusão)

Local	Vegetação	Escala/Duração	Resultados e observações ¹	Autor (ano)
Guarapuava/Brasil (PR)	Ombrófila Mista, capoeirão	Parcela (100 m ²); 1 ano	Na capoeira, os percentuais de <i>Tf</i> foram maiores quanto maior a chuva externa; na floresta de faxinal o comportamento foi o oposto.	Thomaz (2005)
	Ombrófila Mista, faxinal			
Ilha do Mel/Brasil (PR)	Mata Atlântica Litorânea (seca)	2 anos	Os percentuais mensais de chuva interna são maiores na floresta seca que na paludosa.	Britez et al. (1998)
	Mata Atlântica Litorânea (paludosa)			
Reserva Natural Salto Morato/Brasil (PR)	Ombrófila Densa Aluvial, capoeira	2 anos	<i>Tf</i> estatisticamente semelhante nos dois estágios sucessionais.	Sheer (2009)
	Ombrófila Densa Submontana			
Bacia experimental do rio Saci/Brasil (SC)	Plantação de <i>Pinus taeda</i> (30 anos)	Bacia (10,2 ha); 3 meses	<i>Tf</i> = 71,2%; <i>Sf</i> = 7,4%; <i>I_c</i> = 21,4% (em relação à <i>P</i> do período, 665 mm)	Chaffe et al. (2010)
Estação Biológica La Selva/Costa Rica	Floresta tropical	Parcela (1,4 ha); 1 mês	Correlação linear fraca entre <i>Tf</i> e ICD; variabilidade da <i>Tf</i> é mais influenciada pela arquitetura da copa e pela ausência de aberturas do que pela luz.	Loescher et al. (2002)
Floresta Exp. Luquillo/Porto Rico	Floresta do tipo Tabonuco	Bacias (13 ha); 1 ano	<i>Tf</i> foi maior em clareiras e ao longo dos cursos de água; menos de 12% dos troncos produziu mais da metade do <i>Sf</i> ; Influência de epífitas, lianas e caules articulados no <i>Sf</i> .	Scatena (1990)

¹ Percentuais em relação à chuva externa; * Informação não oferecida pelos autores; ICD é índice de cobertura do dossel; *I* é total de perdas por interceptação; *I_c* é perda por interceptação pela copa; *P* é chuva externa; *Tf* é chuva interna; *Sf* é escoamento de tronco.

Tabela 4. Síntese de experimentos de interceptação em regiões de clima semi-árido.

Local	Vegetação	Escala/Duração	Resultados e observações ¹	Autor (ano)
Estação Ecológica Aiuaba/Brasil (CE)	Caatinga arbórea, preservada	Parcela (100 m ²); 2,5 anos	Apesar da vegetação ter folhas muito pequenas, I_c foi mais alto que o esperado, devido as altas taxas de evaporação.	Medeiros et al. (2009)
Centro Agroecológico São Miguel/Brasil (PB)	Gliricídia, agrofloresta	Parcelas (144 m ²); 1 ano	Sf se fez presente a partir de chuva externa de 4 mm.	Perez-Marin & Menezes (2008)
UANL Linares/México	Savana	Indivíduos	Grande variação inter-específica no Sf .	Návar & Bryan (1990)
Linares/México	Savana	Indivíduos e Parcela (25 m ²)	Variação inter- e intra-específica e de escala. Indivíduo: $Sf = 2,5-8,4\%$; Parcela: $Sf = 6,4\%$	Návar (2011)

¹Percentuais em relação à chuva externa; I_c é perda por interceptação pela copa; Sf é escoamento de tronco.

2.2. CHUVA INTERNA

Em florestas tropicais, a chuva interna não é espacialmente uniforme. Loescher et al. (2002) estudaram a distribuição espacial da chuva interna em floresta tropical na Costa Rica, e observaram grande variabilidade entre os coletores. Esses autores sugeriram que grande parte da variabilidade espacial da chuva interna é devido às copas de árvores grandes e às aberturas no dossel.

Konishi et al. (2006) estudaram a distribuição espacial da chuva interna em floresta tropical. Esses autores elucidaram alguns mecanismos desse processo, tais como: sob aberturas na copa, a chuva interna alcança maiores médias e com menor desvio padrão; pontos com alto índice de abertura da copa originam altos valores de chuva interna, mas pontos com baixo índice de abertura da copa têm distribuição dos valores de chuva interna bastante esparsa, indicando que a abertura da copa não é o único fator que influencia esse processo; a distribuição espacial da chuva interna é regulada por mecanismos em diferentes escalas, que variam do tamanho de copas individuais até o tamanho de clareiras presentes na vegetação.

O primeiro trabalho que descreve detalhadamente um sistema de monitoramento de chuva interna é o de Horton (1919). Esse autor descreveu seus coletores de chuva interna: recipientes de aço galvanizado, com 17 polegadas (43 cm) de diâmetro e 5 polegadas (12,7 cm) de profundidade, com uma mangueira saindo de seu fundo e inserida em garrafa de vidro para armazenamento da água coletada. Instalou um coletor embaixo de cada árvore estudada, posicionados no ponto médio entre tronco e periferia da copa; em algumas árvores instalou também um coletor adicional, idêntico ao anterior, mas posicionado na periferia da copa, para comparar o efeito do posicionamento dos coletores. Entretanto, como as árvores estudadas eram indivíduos isolados em terreno aberto, e não inseridas em vegetação densa, observou que os coletores periféricos não forneceram resultados confiáveis, por vezes captando a chuva externa, sob ação do vento.

Helvey & Patric (1965) revisaram os estudos de interceptação disponíveis nos Estados Unidos. Plotaram os coeficientes de variação dos resultados de chuva interna e externa de diferentes estudos em um mesmo gráfico (Figura 3), e concluíram que: (i) chuvas menores são mais difíceis de medir com precisão; (ii) a chuva interna tem sempre maior variabilidade que a chuva externa.

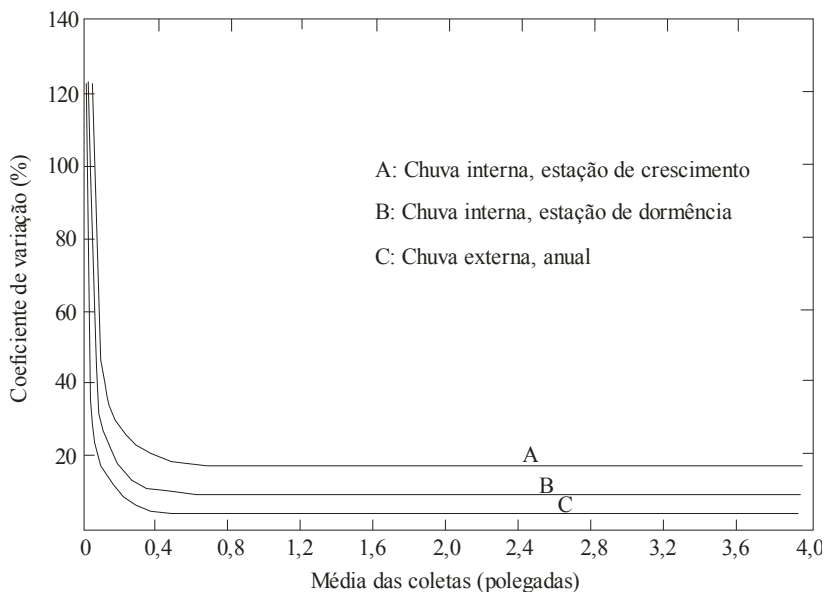


Figura 3. Relação do coeficiente de variação com a chuva interna e a chuva externa (Adaptado de Helvey & Patric, 1965).

Sobre os tipos, tamanhos e quantidade de coletores, Helvey & Patric (1965) comentaram que não há uma metodologia padrão, e mencionam a existência de diferentes tipos: calhas de 4 até 100 pés (1,2 a 30,5 m) de comprimento; pluviômetros padrão e pluviômetros caseiros construídos com latas, garrafas, canos, funis, etc. Para exemplificar a variedade de arranjos utilizados na medição de chuva interna: Horton (1919) utilizou coletores de 17 polegadas (43,2 cm) de diâmetro; Lloyd & Marques (1988) utilizaram 36 coletores de 12,7 cm de diâmetro em parcela de 400 m²; Ubarana (1996) utilizou coletores idênticos aos de Lloyd & Marques (1988), mas 30 unidades na parcela de 400 m²; Tobón Marin et al. (2000) utilizaram 20 coletores de 9,75 cm de diâmetro por parcela e 1000 m². Castro et al. (1983) utilizaram 5 calhas de 0,3 m² distribuídas aleatoriamente em parcelas de 600 m²; Konishi et al. (2006) utilizaram 2 calhas retangulares (7,08 m² e 9,58 m²) conectadas a pluviógrafo de báscula e 100 coletores de chuva interna (22,75 cm de diâmetro) alinhados com espaçamento de 1 m.

Cuartas et al. (2007) comparou o uso de dois tipos de coletores: (1) calhas com perfil em V, de dimensões 5 cm por 36 m (área de coleta de 1,8 m²); e (2) 49 coletores de 10,75 cm de diâmetro (área de coleta de

363 cm²). Encontraram influência do tipo de coletor nos resultados de chuva interna. A influência dos dispositivos é tanto maior quanto maior o valor medido.

Compilando observações de diferentes estudos, Helvey & Patric (1965) observaram que a quantidade de coletores é mais importante que o tipo e o tamanho; e sugerem que 15 pluviômetros do tamanho padrão (8 polegadas ou 20,3 cm de diâmetro), com realocação periódica, é a configuração adequada para medir a chuva interna durante eventos de chuva de todos os tamanhos. Hewlett (1982) sugere que são necessários aproximadamente 10 pluviômetros no interior da floresta para alcançar a precisão de um pluviômetro instalado em área aberta.

Para estudar a influência da quantidade de coletores nos resultados de chuva interna, Lloyd & Marques (1988) utilizaram 36 coletores (5 polegadas ou 12,7 cm de diâmetro) realocados aleatoriamente a cada semana. O estudo mostrou que a influência da estrutura da copa nos resultados de chuva interna é uma função da distribuição dos coletores. E quanto mais coletores, melhor é a descrição da estrutura da copa. Assim, a quantidade ideal de coletores é aquela que melhor representa a estrutura da copa. A Figura 4 mostra principalmente que: (i) o acréscimo de coletores diminui o erro na estimativa da chuva interna, principalmente entre 1 e 10 pluviômetros; (ii) o aumento no número de arranjos aleatórios reduz, em escala logarítmica, o erro na estimativa da chuva interna.

Estudando a variabilidade espacial da chuva interna, Loescher et al. (2002) concluíram que a partir de 15 coletores a variância entre os resultados se estabiliza e coletores adicionais já não contribuem para a precisão da média. Além disso, os autores verificaram que um espaçamento mínimo entre os coletores é necessário para garantir a independência entre eles. Esse espaçamento depende do tamanho das copas das árvores e aberturas no dossel, e foi estimada em 45 m naquele estudo.

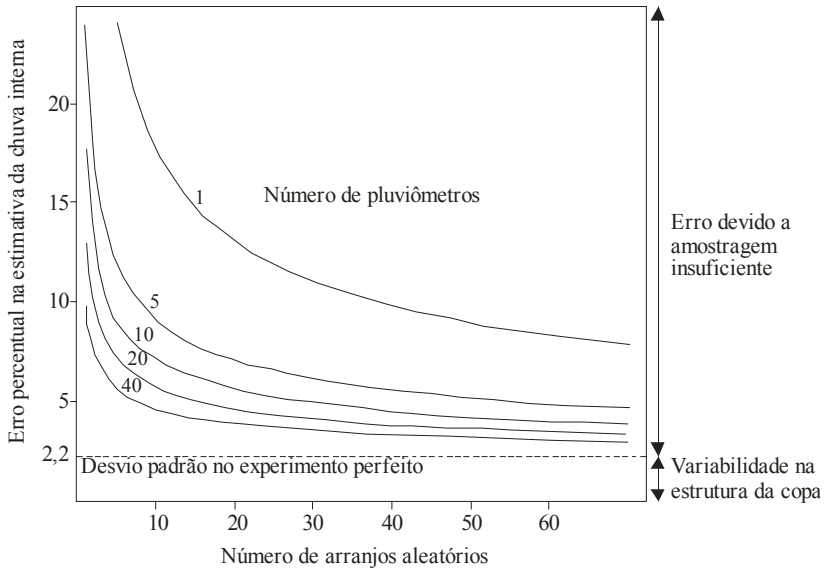


Figura 4. Influência da quantidade de pluviômetros e arranjos aleatórios nos resultados de chuva interna (Adaptado de Lloyd & Marques, 1988).

2.3. ESCOAMENTO DE TRONCO

Á água que escorre pelos troncos da floresta, como já foi observado por Horton (1919), representa uma proporção muito pequena da chuva, se comparado à chuva interna. Por essa razão, associada à dificuldade de medir o escoamento de tronco, muitos estudos de interceptação desconsideraram esse mecanismo. Entretanto, o papel mais pronunciado do escoamento de tronco na hidrologia de encosta é a redistribuição espacial da água da chuva. A entrada de água no solo provinda do escoamento de tronco é mais concentrada e mais heterogênea no espaço que a provinda da chuva interna (LEVIA JR. & FROST, 2003). Portanto, o escoamento de tronco influencia a umidade do solo e a hidrologia de encostas.

O escoamento de tronco em florestas brasileiras heterogêneas e bem desenvolvidas varia, tipicamente, de 0,2 a 10% da chuva total incidente (GIGLIO & KOBAYAMA, 2013). Esses valores concordam com os percentuais de escoamento de tronco registrados em regiões ecológicas tropicais (0,6–13,6%) (LEVIA JR. & FROST, 2003). Há

relatos de percentuais maiores (até 41%) desse processo, mas apenas em estudos com uma ou poucas espécies (GIGLIO & KOBAYAMA, 2013), o que não representa a realidade das florestas nativas do país.

2.3.1. Fatores influenciadores do escoamento de tronco

Há registros de escoamento de tronco em uma grande amplitude de valores, regidos por diversos fatores. Levia Jr. & Frost (2003) fizeram uma revisão sobre o que já se conhece das quantidades e mecanismos desse processo em diferentes regiões climáticas do globo. Esta seção é fundamentada na publicação de Levia Jr. & Frost (2003), exceto por inserções indicadas com a citação dos autores correspondentes.

Os registros de escoamento de tronco variam de 0,6 a 45 % da chuva incidente. Essa variabilidade se deve às diferenças climáticas, de condições meteorológicas e de composições florestais entre cada região. Mas dentro de cada região ecológica ainda existe variabilidade: em regiões tropicais, foram encontrados volumes de escoamento de tronco de 0,6 a 13,6% da chuva incidente; em regiões temperadas e áridas e semi-áridas, a faixa de valores é de 0,9 a 20%, e de 0,8 a 45%, respectivamente. Possíveis responsáveis por essa variabilidade dentro das regiões ecológicas são: geometria e estrutura da copa; densidade de parcelas do estudo; presença ou ausência de epífitas; composição de espécies; variação da textura das cascas das árvores; características dos eventos de chuva. Portanto, além das diferentes regiões ecológicas, outros fatores influenciadores da geração de escoamento de tronco são principalmente: as condições meteorológicas (características da chuva e do vento), sazonalidade, características inter- e intra-específicas e estrutura da copa.

Sobre a influência das características da chuva na produção de escoamento de tronco, esse processo aumenta com a magnitude e diminui com a intensidade do evento de chuva. Como exceção, quando a condição meteorológica é quente e com vento, a intensidade e o tamanho das gotas são decisivos para a redução da evaporação, e o escoamento de tronco pode aumentar com a intensidade da chuva.

A influência da velocidade e direção do vento na produção de escoamento de tronco ainda não está completamente entendida. Há estudos que relatam que a chuva de vento cria na copa uma “sombra de chuva”, que determina a real área de interceptação pela copa. Ainda, o vento que incide persistentemente na vegetação movimentada a copa e a

água interceptada é redistribuída copa abaixo, com tamanhos de gota e ângulos aleatórios. Crockford & Richardson (2000) relataram que o ângulo da chuva com vento afeta significativamente a produção de escoamento de tronco; e Kuraji et al. (2001) observaram que a produção de escoamento de tronco aumenta com a velocidade do vento.

Sobre a sazonalidade, em florestas decíduas, a parcela da chuva que escoar pelos troncos é maior no inverno do que no verão. Em coníferas, as estações do ano parecem não influenciar essa proporção.

A variabilidade na geração de escoamento de tronco entre espécies é atribuída a diferenças na estrutura da copa, tais como a quantidade, geometria e área projetada dos galhos, ou a características do tronco, principalmente relativas à casca: porosidade, fisiologia e composição química, textura, capacidade de retenção de água e taxa de secagem. Por exemplo, o escoamento de tronco aumenta com a inclinação dos galhos, até um ponto crítico – quando a área da projeção vertical da copa passa a ser muito pequena e reduzir o escoamento. Crockford & Richardson (2000) mencionam o tamanho e angulação das folhas como um fator influenciador da geração do escoamento de tronco: folhas côncavas e com angulação acima da horizontal direcionam a água para o galho. Muitas espécies de eucalipto têm suas folhas praticamente verticais e, portanto, as folhas dessas espécies contribuem para o escoamento de tronco apenas quando gotejam sobre outro galho (CROCKFORD & RICHARDSON, 2000).

Além da variabilidade entre diferentes espécies, também há variações intra-específicas na geração de escoamento de tronco. Ao medir escoamento de tronco em floresta temperada e em vegetação de clima semiárido, Návar (2011) encontrou variações do volume do escoamento de tronco não só entre espécies, mas também intra-específicas. Entretanto, o único fenômeno já conhecido que explica essa variabilidade é que árvores mais velhas em geral produzem menos escoamento de tronco.

Sobre características estruturais da copa, já foram relatadas como influenciadores da produção de escoamento de tronco: a quantidade de galhos e a presença de aberturas na copa. Crockford & Richardson (2000) mencionaram o papel das obstruções ao fluxo, formando pontos de gotejamento. Em geral, o escoamento de tronco não parece ser proporcional à capacidade de armazenamento total da copa, devido ao armazenamento de água na casca dos troncos e também porque é gerado quase completamente na parte superior da copa, com exceção de chuva com vento.

Para avaliar a influência das características da vegetação no escoamento de tronco, alguns pesquisadores compararam os resultados desse processo com características frequentemente estimadas em inventários florestais. Black (1957⁵, citado por HELVEY & PATRIC, 1965) não encontrou nenhuma relação forte entre o escoamento de tronco e diversas características da vegetação. Entretanto, Rutter (1963) encontrou correlação linear entre os volumes de escoamento de tronco e o quadrado do diâmetro à altura do peito (DAP). Oyarzún et al. (2011) encontraram alta correlação entre o escoamento de tronco e o DAP. Crockford & Richardson (1990) observaram uma correlação positiva entre o escoamento de tronco e área basal e comprimento do tronco, devido ao aumento do tamanho da copa com o aumento desses atributos.

Quanto à espacialidade, sabe-se que a razão de afinilamento em florestas tropicais é da ordem de 7 a 112, i.e., o volume do escoamento de tronco supera em 7 a 112 vezes o volume de chuva esperado em um pluviômetro com a área de coleta igual à área basal das árvores. Em geral, a variabilidade espacial do escoamento de tronco é menor quanto maior a magnitude do evento de chuva.

Scatena (1989) observou que a presença de epífitas, lianas, e caules articulados na vegetação exerce influência no escoamento de tronco; a presença de epífitas reduz os volumes de escoamento de tronco, porque aumenta o total da área disponível para retenção de água.

2.3.2. Métodos de medição de escoamento de tronco

Em sua revisão sobre o estado da arte do conhecimento sobre a influência do escoamento de tronco nos ciclos hidrológico e biogeoquímicos, Levia Jr. & Frost (2003) concluíram que modelar o escoamento de tronco com acurácia é difícil por causa da complexidade do processo e da grande quantidade de variáveis envolvidas e que, portanto, são necessárias mais medições desse processo e dos fatores influenciadores em campo.

Exceto por algumas adaptações, o método utilizado até hoje para medição desse processo foi primeiramente descrito por Horton (1919): pequenas calhas pregadas em torno do tronco previamente descascado, preenchidas de areia para manter o formato, e conectadas a um recipiente de armazenamento. Não existe um padrão estabelecido de quantidade e tipo de coletor adequado para medição do volume de

⁵ BLACK, P.E. **Interception in a hardwood stand**. Master of Forestry thesis, University of Michigan, 1957.

escoamento de tronco (LEVIA JR. & FROST, 2003). Em florestas, esse processo é tipicamente medido com os coletores do tipo espiral proposto por Herwitz (1988), i.e., mangueiras flexíveis cortadas ao longo do comprimento, e pregadas nos troncos de modo a formar um espiral. A extremidade inferior da mangueira é deixada intacta e conectada a um recipiente de armazenamento ou a um pluviógrafo de balança. Vieira & Palmier (2006) utilizaram espiral confeccionado com mangueira de borracha, instalados de maneira a completar 2 a 3 voltas em torno do tronco. Návar (2011) também utilizou coletor espiral de mangueira de borracha, selado com silicone e direcionando o fluxo para recipiente de armazenamento de 20 L. Como alternativa à mangueira flexível, Balieiro et al. (2001) moldaram os coletores em espuma poliuretano.

Outro coletor utilizado é o do tipo colar, concêntrico em relação ao tronco da árvore, proposto por Rutter (1963). Esse autor confeccionou os colares em folha metálica, e posicionou-os de forma a manter um espaço de 3 cm entre o tronco e o coletor; no fundo do coletor, fixou uma mangueira que direciona o fluxo até um recipiente de armazenamento. Em alternativa ao colar metálico, Scatena (1990) utilizou plástico para confeccionar os colares, com 30 cm de altura, em uma adaptação do método proposto por Likens & Eaton (1970). Durocher (1990) defende que os colares estão menos sujeitos a entupimento por folhas e galhos que os coletores do tipo espiral.

Para medir o escoamento de tronco do sub-bosque da vegetação, Moura et al. (2009) utilizaram coletores moldados com massa adesiva epóxi, em formato de concha, nos troncos com DAP entre 5 e 20 cm.

Rutter (1963) observou a existência de gotejamento oriundo dos troncos de casca rugosa, e instalou dispositivo para medir o que chamou de gotejamento de tronco. Comparando o volume médio de chuva interna no local com o volume de chuva (incluindo os gotejamentos) numa faixa de 15 cm de largura ao redor dos troncos, concluiu que o fenômeno realmente existe, e embora esses volumes sejam pequenos, eles explicaram os erros de medição que havia observado em coletores de chuva interna posicionados muito próximos aos troncos.

Helvey & Patric (1965) comentaram a dificuldade de escolher a largura mais adequada de coletor, i.e., larga o suficiente para coletar todo o escoamento de tronco, e estreita o suficiente para não coletar chuva interna. Voigt⁶ (1960, citado por HELVEY & PATRIC, 1965) observaram que um aumento na largura dos coletores de 1 para 19

⁶ VOIGT, G.K. Distribution of rainfall under forest stands. *Forest Sci.*, v.6, p.2-10, 1960.

polegadas aumentou em mais de 50% os volumes de escoamento de tronco.

2.3.3. Métodos de estimativa de escoamento de tronco

A estimativa do escoamento de tronco em uma área coberta por vegetação tem uma dificuldade particular: como os coletores coletam a água escoada pelo tronco de uma única árvore, com os métodos disponíveis até o momento, o escoamento de tronco só pode ser medido para cada indivíduo da vegetação. No máximo, é possível direcionar a água de diversos coletores para um mesmo recipiente ou pluviógrafo. Mas os coletores têm que ser instalados árvore a árvore. Na prática, é inviável medir o escoamento de tronco em todos os indivíduos de uma bacia. Então é preciso lançar mão de algum procedimento de extrapolação. Hanchi & Rapp (1997) resumem esses procedimentos em três opções:

- a) Medir o escoamento de tronco em todos os indivíduos de uma parcela representativa da área de estudo;
- b) Medir o escoamento de tronco em uma quantidade árvores com tamanho (DAP, em geral) médio da área de estudo;
- c) Medir o escoamento de tronco em árvores de diferentes classes de tamanho (DAP), abrangendo toda a faixa de DAPs da área de estudo.

Ainda, o escoamento de tronco é medido em volume. Para utilizar os resultados dessa medição em conjunto com dados de outros processos hidrológicos, esses volumes têm que ser convertidos em altura de chuva equivalente. Também há mais de uma maneira de fazer essa conversão.

Em geral, os volumes de escoamento de tronco são expressos como a altura de chuva precipitada sobre a área da projeção da copa (HELVEY & PATRIC, 1965). Foi dessa maneira que Scatena (1990), por exemplo, converteu seus volumes de escoamento de tronco em altura.

Entretanto, há outra maneira de realizar essa conversão: utilizando a área da parcela onde as medidas de escoamento de tronco foram tomadas. Esse método tem a vantagem de prescindir da medição da área da projeção da copa de cada árvore. Entretanto, envolve a escolha de uma parcela representativa da vegetação, o que não é simples em florestas heterogêneas (HANCHI & RAPP, 1997). Nalon & Vellardi (1992), após medir o escoamento de tronco em todas as árvores da

parcela com DAP maior que 20 cm, utilizaram a área da parcela para transformar o volume total coletado em altura de escoamento de tronco. Da maneira como esses autores realizaram a estimativa, desconsideraram completamente o escoamento de tronco das pequenas árvores, caso existam. Para superar essa limitação, pode-se incluir coletores nas árvores com diâmetros menores, como Vieira & Palmier (2006) realizaram.

Há ainda a possibilidade de converter os volumes em altura de escoamento de tronco a partir de correlações entre a altura de chuva externa e os volumes de escoamento de tronco em árvores com DAP de diferentes classes. Vieira & Palmier (2006) utilizaram esse método.

2.4. COBERTURA FLORESTAL

A redistribuição da água da chuva pelos processos de interceptação sofre influência da vegetação, conforme discutido nas seções anteriores. Assim, nas últimas três décadas surgiram iniciativas de mensuração da cobertura florestal, na tentativa de entender a relação entre esta e a interceptação.

Antes dessas iniciativas, os modelos de interceptação consideravam a influência da copa através de dois parâmetros: (i) o coeficiente de chuva interna (p) e (ii) a capacidade de armazenamento (S), presentes nos modelos de Rutter et al. (1971) e Gash (1979). Esses parâmetros são geralmente determinados graficamente, a partir de dados medidos de chuva interna e chuva externa. O coeficiente p é dado pela inclinação da reta que define a relação entre Tf e P para pequenos eventos; e a capacidade de armazenamento S é o intercepto no eixo x ($Tf=0$) da reta envoltória superior da dispersão dos dados de Tf e P de grandes eventos (LLEYTON et al., 1967).

Gash et al. (1995) reformularam o modelo para melhorar seu desempenho em situações em que a vegetação é esparsa, e acrescentou a fração de cobertura da copa (c) como parâmetro de descrição da vegetação. Nessa versão do modelo, a capacidade de armazenamento da copa varia linearmente com c :

$$S = c.S_c \quad (2.6)$$

onde S_c é a capacidade de armazenamento da copa por unidade de área.

Frequentemente assume-se que:

$$c \approx 1 - p \quad (2.7)$$

ou

$$1 - p - p_t \approx c \quad (2.8)$$

onde p_t é o coeficiente de escoamento de tronco, i.e., a proporção da chuva escoada pelo tronco, do modelo original de Gash (1979).

Essas suposições são questionadas por Dijk & Bruijnzeel (2001), que consideram que a primeira suposição (Eq. 2.7) está conceitualmente errada se o tronco for considerado parte da copa, e por Herwitz & Slye (1995), que afirmam que a segunda suposição (Eq. 2.8) nem sempre é adequada.

Dijk & Bruijnzeel (2001) não concordam que o armazenamento da copa varia linearmente com a fração de cobertura (Eq. 2.6), e sim com o índice de área foliar (IAF). Assim, propuseram uma nova formulação para o modelo de Gash et al. (1995), voltada para vegetação com densidade variada, com S sendo definido por:

$$S = S_L \cdot IAF \quad (2.9)$$

onde: S_L é a capacidade específica de armazenamento da folha, i.e., a altura de água que pode ser retida pelas folhas de uma determinada espécie, por unidade de área; IAF é o índice de área foliar, i.e., a área total das folhas (uma face) de uma vegetação por unidade de área (WATSON, 1947⁷, citado por DIJK & BRUIJNZEEL, 2001).

A relação linear entre S e IAF proposta por Dijk & Bruijnzeel (2001) é válida em vegetação com IAF de baixo a médio (0,4–5,9), conforme Pitman (1989).

O modelo reformulado de Gash e suas modificações são amplamente utilizados para a estimativa da interceptação. Então a estimativa da fração de cobertura da copa c e do IAF passou a ser de grande interesse para a hidrologia florestal, não mais apenas para compreender o papel da vegetação nos processos da interceptação, mas também para a utilização dos modelos.

Para estimar a fração de cobertura da copa, Castro et al. (1983) fizeram levantamento da vegetação, incluindo posicionamento de cada indivíduo na parcela e respectiva área de projeção da copa. Finalmente, a partir do croqui resultante do levantamento, relacionaram a área coberta pelas copas com a área da parcela.

Para estudar a relação entre a distribuição espacial da chuva interna e a cobertura da vegetação, Loeschner et al. (2002) estimaram a fração de cobertura da copa com uso de densiômetro esférico.

⁷ WATSON, D.J. Comparative physiological studies on the growth of field crops. **Annals of Botany**, v.11, p.41–76, 1947.

Entretanto, não encontraram relação ($R^2 = 0,11$, $p < 0,02$) entre a chuva interna e a fração de cobertura da copa.

Em alternativa ao levantamento da vegetação e ao uso do densiômetro esférico, Cesar et al. (1990) e Llorens & Gallart (2000) utilizaram fotografias preto e branco, capturadas acima dos coletores de chuva interna, para medir a fração da cobertura da copa. Llorens & Gallart (2000) instalaram a câmera nivelada, a 0,5 m de altura e voltada para o zênite. A cada fotografia, ajustou a velocidade do obturador para as condições de luminosidade do momento. Os autores comentam que dessa maneira, evitam a perda de informação na região do zênite (parte central da foto) por excesso de exposição. Entretanto, faz com que o limiar de intensidade do pixel tenha que ser escolhido para cada foto, para classificá-los em abertura e cobertura da copa.

Germer et al. (2006) estimaram a fração de cobertura também com fotografias, mas com um método diferente: em cada ponto de interesse, definiram duas transversais de 10 m de comprimento e capturaram fotografias a cada 1 m ao longo dessas transversais; posteriormente, identificaram se o pixel central de cada fotografia representava uma abertura ou cobertura da copa, resultando numa proporção de cobertura.

Além das fotografias comuns, fotografias obtidas com o uso de lentes hemisféricas são utilizadas para estimar a fração de cobertura do dossel. Tobón Marin et al. (2000) estimaram a fração de cobertura do dossel a partir de fotos hemisféricas capturadas da altura dos coletores de chuva interna, com a câmera voltada ao zênite, e pós-processadas. Os autores concluíram que a quantidade de pixels brancos da fotografia pós-processada é uma boa estimativa da abertura da copa. Konishi et al. (2006) usaram fotografias com lente hemisférica para calcular a abertura da copa, i.e., a porção complementar à fração de cobertura da copa. Como resultado, obtiveram uma fraca relação entre o percentual de chuva interna e a fração de abertura da copa ($R^2=0,245$). Observaram que, embora os maiores índices de abertura da copa coincidam com grandes percentuais de chuva interna, como espera-se, a pequenos valores desse índice correspondem uma grande variação de percentuais de chuva interna. Esses resultados sugerem que o índice de abertura da copa não controla sempre a distribuição da chuva interna.

Monte et al. (2007) compararam duas resoluções de fotografias digitais coloridas (640x480 e 1280x960 pixels) para estimar a fração de cobertura da copa, e concluíram que o uso de fotografias digitais com maior resolução permite maior diferenciação entre céu e dossel. As

fotografias foram tomadas com a máquina instalada em tripé a 0,5 m de altura, e a lente voltada para o céu.

Suganuma et al. (2008) compararam diferentes métodos para estimar a fração de cobertura da copa, entre eles o densiômetro esférico, fotografias comuns e fotografias hemisféricas. Os três métodos apresentaram resultados coerentes, mas as fotografias comuns apresentam grande sensibilidade a pequenas alterações no dossel. Esse método apresentou vantagens como: coleta de dados pouco onerosa, alta confiabilidade nos dados e baixo custo.

O c e o IAF podem ser relacionados entre si pela lei de atenuação de radiação de Beer-Lambert, expressa em termo de fração de cobertura da copa (Pitman,1989):

$$c = 1 - e^{-\kappa \cdot IAF} \quad (2.6)$$

onde κ é o coeficiente de extinção da radiação, e varia entre 0,6 e 0,8 em florestas (ROSS, 1975⁸, citado por DIJK & BRUIJNZEEL, 2001). Pitman (1989) encontrou, experimentalmente, relação exponencial entre o c e o IAF. Então e daí interpretou a lei de Beer-Lambert em termos de c .

Llorens & Gallart (2000) utilizaram a lei de Beer-Lambert para estimar o IAF a partir do c determinado por fotografias. Obtiveram valores entre 0,68 e 1,46 m².m⁻², semelhantes aos resultados de métodos diretos de determinação de IAF em uma vegetação semelhante (0,75–1,43 m².m⁻²). A estimativa do IAF a partir do c pela lei de Beer-Lambert, apesar de atraente devido a simplicidade de obtenção do c , envolve a estimativa do coeficiente κ , que deve ser calibrado para a vegetação e condições de radiação do estudo.

Apesar da relação exponencial entre c e IAF oriunda da lei de Beer-Lambert, Monte et al. (2007) encontraram correlação linear entre o IAF (estimado com o analisador de dossel LAI-2000) e o índice de cobertura do dossel, equivalente ao c , estimado com fotografia digital convencional.

⁸ ROSS, J. Radiative transfer in plant communities. In: Monteith, J.L. (ed.) **Vegetation and the Atmosphere**, v.1. Londres: Academic Press, 1975. p.13–15.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho trata da interceptação pela copa (I_c), definida no item 2.1.3, e os processos chuva externa (P), chuva interna (Tf) e escoamento de tronco (Sf). Apesar de pouco frequente, aqui se optou pelo uso do termo “chuva externa” para se referir à chuva que precipita sobre a bacia, antes de sofrer qualquer influência da vegetação. Assim, evita-se confusão entre as duas chuvas tratadas aqui: (i) a chuva externa à vegetação, livre de sua influência; (ii) e a chuva interna, que precipita no interior da floresta, sob plena influência da vegetação. Como a interceptação pelo chão florestal não é abordada, as perdas por interceptação pela copa são tratadas como “perdas por interceptação”, por simplificação. Os processos medidos neste trabalho são ilustrados na Figura 5.

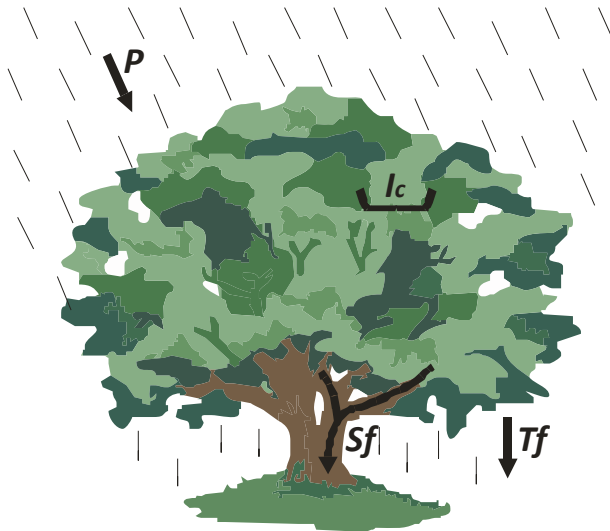


Figura 5. Processos hidrológicos considerados neste trabalho. P é chuva externa, Tf é chuva interna, Sf é escoamento de tronco, e I_c é interceptação pela copa.

Este trabalho se baseou principalmente em dados obtidos em campo, através de: monitoramento automático de chuva externa; monitoramento de chuva externa, chuva interna e escoamento de tronco; monitoramento mensal da cobertura florestal; e caracterização em

campo da vegetação em duas parcelas. A Figura 6 sintetiza o fluxo de informações da obtenção de dados para este trabalho.

O monitoramento automático pluviométrico e o monitoramento de chuva interna na bacia experimental do rio Araponga tiveram início em 17/12/2011. O monitoramento de chuva externa com pluviômetros teve início em 15/02/2012 no pluviômetro PLUV e em 13/09/2012 nos outros pluviômetros (E1, E2 e E3). O escoamento de tronco começou a ser medido em 09/10/2012. As fotografias da cobertura florestal começaram a ser coletadas em 19/01/2012. Os dados foram coletados para este trabalho até 20/12/2012. As informações de chuva externa, chuva interna e cobertura florestal abrangem um ano completo, enquanto as informações de escoamento de tronco estão restritas à primavera.

As campanhas de monitoramento tiveram frequência aproximadamente quinzenal. Nessas campanhas foram coletados os dados dos pluviômetros e coletores de escoamento de tronco; as fotografias foram capturadas a cada duas campanhas, i.e., mensalmente. Campanhas adicionais foram realizadas para instalação de equipamentos e dispositivos e levantamentos para a descrição da área de estudo. A chuva externa foi registrada automaticamente em intervalos de 5 minutos.

A Tabela 5 apresenta os períodos de monitoramento, com as datas das coletas de dados de chuva externa, chuva interna e de escoamento de tronco, e das fotografias da cobertura florestal. A data de coleta de dados de cada período coincide com a data do fim do período, na terceira coluna.

Os períodos de monitoramento foram caracterizados quanto à estação do ano para a análise dos dados. As estações do ano foram definidas para que as datas limites coincidissem com as datas das coletas, assim cada período de monitoramento corresponde a uma única estação. Considera-se neste trabalho as estações do ano como os períodos determinados pelos seguintes intervalos:

- a) verão: de 17 de dezembro de 2011 a 15 de março de 2012;
- b) outono: de 16 de março a 11 de junho de 2012;
- c) inverno: de 12 de junho a 12 de setembro de 2012;
- d) primavera: de 13 de setembro a 20 de dezembro de 2012.

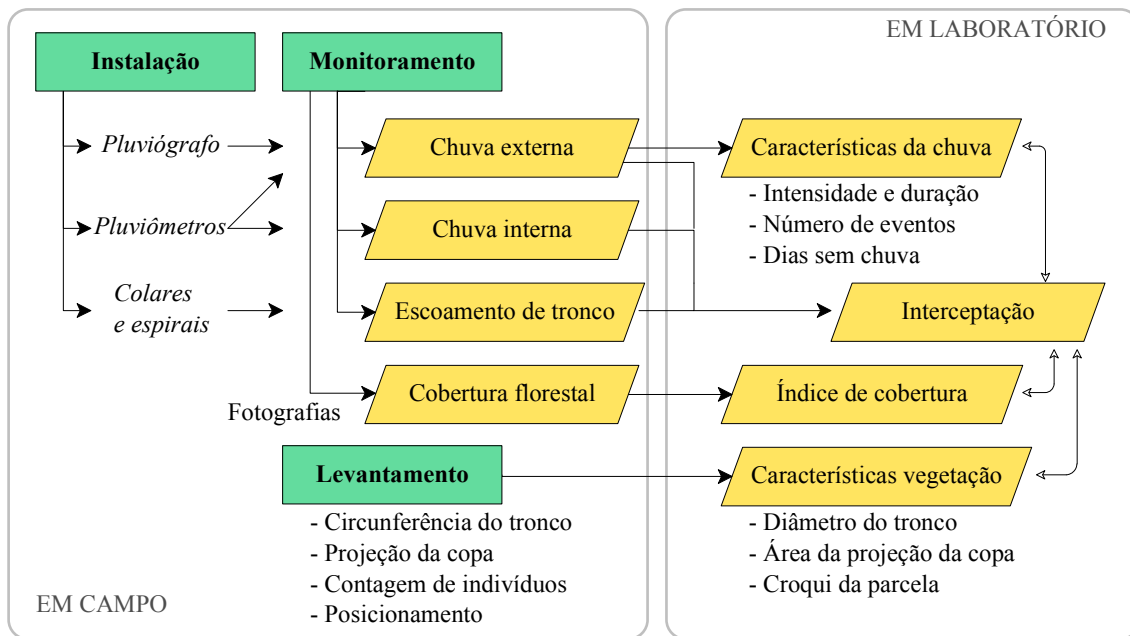


Figura 6. Fluxograma da obtenção de dados.

Tabela 5. Datas das medições de chuva externa, chuva interna, escoamento de tronco e de captura das fotografias do dossel. Todas as datas são em 2012.

	Período			Chuva externa ¹	Chuva externa ²	Chuva interna	Escoamento de tronco	Fotografias
	Nº	Início	Fim					
verão	1	17/12 ³	11/01	25		•		
	2	11/01	19/01	8		•		•
	3	19/01	31/01 ⁴	12		•		
	4	31/01	15/02	15		•		•
	5	15/02	01/03	15	•		•	
	6	01/03	16/03	15	•		•	•
outono	7	16/03	29/03	13	•			
	8	29/03	11/04	13	•			•
	9	11/04	27/04	16	•			
	10	27/04	09/05	12	•			•
	11	09/05	25/05	16	•			
	12	25/05	12/06	18	•			•
inverno	13	12/06	27/06	15	•			
	14	27/06	16/07	19	•			•
	15	16/07	18/07	2	•			
	16	18/07	03/08	16	•			
	17	03/08	15/08	12	•			
	18	15/08	30/08	15	•			•
	19	30/08	13/09	14	•			•
primavera	20	13/09	27/09	14	•	•		
	21	27/09	09/10	12	•	•		•
	22	09/10	24/10	15	•	•	•	
	23	24/10	06/11	12	•	•	•	•
	24	06/11	20/11	14	•	•	•	
	25	20/11	06/12	16	•	•	•	•
	26	06/12	20/12	14	•	•	•	•

¹ Pluviômetro PLUV

² Pluviômetros E1, E2 e E3

³ Ano de 2011

⁴ Algumas das coletas desse período foram realizadas no dia 01/02

3.1. ÁREA DE ESTUDO

A bacia experimental do rio Araponga (ARA), do Laboratório de Hidrologia da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), está situada na zona rural do município de Rio Negrinho, no Planalto Norte catarinense, região Sul do Brasil (Figura 7). Está inserida na bacia hidrográfica do alto Rio Negro. É uma bacia de segunda ordem, com 5,3 ha, completamente coberta por Floresta Ombrófila Mista secundária. Suas coordenadas geográficas são 49°29'44'' oeste e 26°29'27'' sul e a altitude varia de 880 m a 1006 m acima do nível do mar. A ARA foi implementada por Mota (2012), que investigou o tempo de concentração na bacia, e a relação deste com características dos eventos de chuva e de vazão.

Na ARA, Mota (2012) encontrou que o tempo de concentração da bacia varia de 1 a 26 horas, é função da vazão de pico e do índice de precipitação antecedente de 21 dias, e não está relacionado com a intensidade máxima da chuva. Mota (2012) conclui que por ser uma bacia florestal a resposta da ARA à chuva está condicionada à redistribuição da água pela vegetação e ao armazenamento de água no solo. Portanto, o tempo de concentração na ARA não pode ser estimado por características momentâneas da chuva, e sim por parâmetros que representem as condições de umidade da mesma (como o índice de precipitação antecedente) ou o saldo de umidade depois dos processos de interceptação e infiltração (como a vazão de pico).

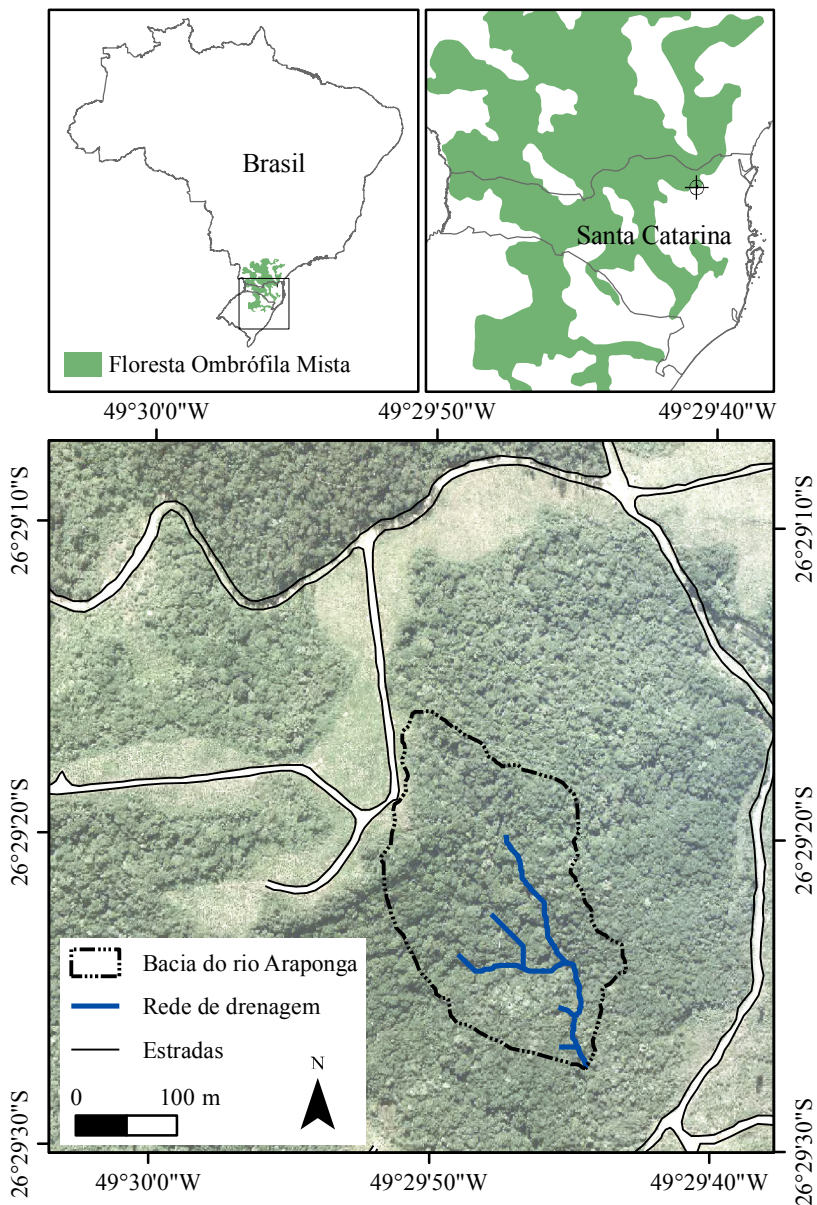


Figura 7. Mapa de localização da bacia experimental do rio Araçuaia.

3.1.1. Geologia, relevo e solos

O município de Rio Negrinho está sobre a bacia sedimentar do Paraná, na unidade geomorfológica Patamar de Mafra, e é caracterizado por superfície regular, quase plana, de baixa energia de relevo. O embasamento sedimentar na região é de rochas dos grupos Itararé e Guatá, Super-grupo Tubarão. O grupo Itararé é representado, ao norte do município, pela formação Mafra, com arenitos finos e grosseiros, diagmititos areno-argilosos, conglomerados, ritmititos, argilitos e varvitos. Na parte central do município, o grupo Itararé é representado pela formação Rio do Sul, com folhelhos, argilitos e arenitos. O grupo Guatá, na porção sul do município, é representado pela formação Rio Bonito, com arenitos intercalados com argilitos e folhelhos, representando depósitos litorâneos e fluvio-deltaicos (SANTA CATARINA, 1986).

Os solos dominantes da região são do grupo Cambissolo, cujas principais características são: a presença de horizonte B pouco desenvolvido e baixo gradiente de textura entre os horizontes. São solos minerais não hidromórficos, de coloração bruno-avermelhada e com horizontes A, B e C (MOSER, 1990).

3.1.2. Clima

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cfb: mesotérmico úmido, sem estação seca e com verões frescos, i.e., a temperatura média do mês mais quente é sempre inferior a 22°C (SANTA CATARINA, 1997). Pela classificação de Thornthwaite, o clima da região é do tipo úmido, mesotérmico, com pouco ou nenhum déficit de água, e concentração no verão da evapotranspiração potencial abaixo de 48% (SANTA CATARINA, 1986).

A região Sul é caracterizada por ser uma região de passagem da frente polar em frontogênese e, portanto, sujeita a sucessivas invasões de anticiclones polares, com a regularidade de uma invasão por semana. Esses anticiclones são os principais responsáveis pela frequência das chuvas e também pelas chuvas intensas. Por outro lado, os ventos de NE dos anticiclones do Atlântico Sul trazem bom tempo e aquecimento à região. O fato dos sistemas causadores de chuva atuarem o ano todo confere à região sua principal característica climática: chuvas bem distribuídas ao longo do ano, com ausência de estação seca. A bacia

experimental está situada entre as isoietas de chuva de 1250 e 1500 mm ao ano. Agosto, setembro e outubro concentram 25 a 35% das chuvas do ano, sendo os 3 meses consecutivos de máxima concentração máxima de chuvas. Os meses menos chuvosos são os de abril, julho e maio, nessa ordem. Entretanto, tanto as chuvas intensas como as chuvas duradouras são freqüentes em todos os meses do ano. Em termos de desvios anuais das normais de chuva, os anos com invasões mais freqüentes das frentes polares se caracterizam por fortes desvios positivos, e a altura de chuva nesses anos por vezes ultrapassa o dobro da chuva média anual. Há também anos com fortes desvios negativos, quando a região fica sujeita a secas de até 3 meses de duração. No entanto, mesmo durante as secas há alguma chuva, pois raramente as frentes polares se ausentam por mais de 15 dias na região (NIMER, 1990).

Além da ausência de estação seca, a região Sul se destaca das outras regiões brasileiras pelo clima mais frio. Devido à localização em latitude subtropical, sobre o Planalto, afastada da influência marítima pela Serra Geral, e sob constantes invasões das massas frias de origem polar, a bacia do rio Araponga experimenta temperaturas entre as mais frias da região Sul. Situa-se na área compreendida entre as isoterms de temperatura média anual de 16°C e 18°C; temperatura média do mês mais quente (janeiro) de 20°C e 22°C; média das máximas diárias do verão de 26°C e 28°C; temperatura média do mês mais frio (julho) de 10°C a 15°C; média das mínimas diárias no inverno de 6°C e 10°C. Está em área de ocorrência frequente de noites frias, i.e., com ocorrência de temperaturas iguais ou inferiores a 0°C, entre as isolinhas de 5 a 15 noites frias por ano; e geadas, entre as isolinhas de 5 a 15 ocorrências de geadas por ano, incluindo geadas brancas e negras. As geadas negras são aquelas que ocorrem quando uma camada espessa de ar próximo à superfície terrestre alcança ponto de orvalho em temperaturas inferiores a 0°C, e então os líquidos no interior das plantas congelam, e estas morrem enegrecidas. A geada branca, mais comum, ocorre quando o ponto de orvalho se mantém acima de 0°C, mas a temperatura das superfícies fica negativa, então o vapor d'água em contato com essas superfícies sublima e forma uma fina camada de gelo (NIMER, 1990). A Figura 8 ilustra a ocorrência de geada na Bacia Experimental.



Figura 8. Paisagem da estrada de acesso à Bacia Experimental do rio Araponga, às 10:30 de 29/05/2012, após geada.

3.1.3. Vegetação

A vegetação do Planalto Norte é, originalmente, Floresta Ombrófila Mista (FOM) do tipo Montana (KLEIN, 1978; SANTA CATARINA, 1986; LEITE & KLEIN, 1990). A FOM é também conhecida como Mata de Araucárias ou Pinheiral. Leite e Klein (1990) definem a FOM como uma mistura de floras de diferentes origens, definindo padrões fitofisionômicos típicos, em zona climática pluvial. Na FOM, coexistem as floras tropical (afro-brasileira) e temperada (austro-brasileira). A região que a contempla é o Planalto Meridional Brasileiro, área de dispersão da *Araucaria angustifolia*, o curiirama ou pinheiro brasileiro. A araucária e outros elementos da FOM, num passado de clima mais frio e seco, desenvolveram características heliófitas, e hoje são desfavorecidas pelo clima atual (LEITE & KLEIN, 1990).

A área de dispersão natural do pinheiro brasileiro já sofreu expansão e regressão ao longo do tempo geológico, em função de flutuações climáticas e mutações vegetais. Hoje, a FOM se estende

numa área de aproximadamente 175 mil km², ocupando diferentes tipos de relevo, solos e rochas, geralmente nas altitudes acima de 500 m e ao sul do paralelo 23°, em áreas longe da influência marítima (LEITE & KLEIN, 1990).

Ao leste, os pinheirais têm por limite as vertentes interiores da Serras do Mar e Geral, não sendo encontrados nas vertentes atlânticas (ROMARIZ, 1974). Essa corresponde à faixa de contato entre a FOM e a Floresta Ombrófila Densa. Ao oeste, a FOM ocupa os planaltos, estando ausente nos vales dos grandes rios (ROMARIZ, 1974). Nessa direção e também ao norte, se estende até o contato com as Florestas Estacionais Deciduais e Semideciduais (LEITE & KLEIN, 1990). Ao sul, fazem fronteira com os campos sulinos (LEITE & KLEIN, 1990).

A Mata de Araucárias é, em geral, caracterizada por um estrato superior com o pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*) como espécie exclusiva, e sub-bosque com cobertura densa, predominado por lauráceas, principalmente imbuia (*Ocotea porosa*) e canela-lajeana (*Ocotea pulhella*) (KLEIN, 1978; SANTA CATARINA, 1986).

Entretanto, é uma formação heterogênea e descontínua, constituída por árvores características em cada região de ocorrência. Na bacia Iguaçu-Negro, a Mata de Araucárias apresentava originalmente áreas vastas e contínuas de pinhais muito desenvolvidos e de fisionomia uniforme. No sub-bosque predominavam a imbuia, sapopema (*Sloanea lasiocoma*) e a erva-mate (*Ilex paraguayensis*) (KLEIN, 1978; SANTA CATARINA, 1986).

Nos povoamentos secundários de FOM, as espécies mais comuns são: bracaatinga (*Mimosa scabrella*), canela-guaicá (*Ocotea puberula*), vassourão-branco (*Piptocarpha angustifolia*), angico-branco (*Anadenanthera colubrina*), vassourão-preto (*Vernonia discolor*), café-do-mato (*Casearia sylvestris*), vassouras (*Baccharis spp.*) e samambaia-das-taperas (*Pteridium aquilinum*) (LEITE & KLEIN, 1990).

Atualmente, a paisagem está fragmentada em florestas plantadas de *Pinus taeda*, pastagens, campos agrícolas e fragmentos de Floresta Ombrófila Mista (FOM) que, segundo Tres (2010), têm diferentes formas, tamanhos, complexidade, grau de conectividade e isolamento e qualidade de habitats. Em coleta de chuva de sementes em floresta nativa da região, Tres (2010) encontrou as seguintes espécies de árvores: *Schinus terebenthifolia* Raddi, *Cordia* sp. L., *Clethra scabra* Pers., *Pachystroma* sp. Müll. Arg., *Ocotea puberula* (Rich.) Nees, *Ocotea* sp. Aubl., *Myrsine coriacea* (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult., *Myrsine* sp. L., cf. *Alibertia* sp. A. Rich. ex. DC., *Zanthoxylum* sp. L., *Casearia*

decandra Jacq., *Drymys* sp. L., duas espécies de lauráceas, e uma espécie de leguminosa; espécies de arbustos: *Erythroxylum* sp.1 P. Browne, *Erythroxylum* sp.2 P. Browne, *Sebastiania* sp. Spreng., *Myrcia* sp. DC. ex Guill., *Psychotria* sp. L., *Symplocos* sp. L., e 8 espécies de solanáceas; espécies de ervas: *Phytolacca tyrsiflora* Fenzl. ex. J. A. Schmidt, *Polygonum* sp. L., e *Rubus* sp. L.; e espécies de lianas: *Cayaponia* sp. Silva Manso, *Solanum aculeatissimum* Jacq., e *Solanum viscosissimum* Sendtn.; além de outras 23 morfoespécies não identificadas.

Ribeiro et al. (2009) estudaram a distribuição dos remanescentes de Mata Atlântica no Brasil, e concluíram que eles totalizam entre 11,4 e 16% da sua área original, resultado corroborado pela última estimativa da SOS Mata Atlântica e do INPE de 11,6% (SOS Mata Atlântica/INPE, 2011). Ribeiro et al. (2009) concluíram também que a maioria dos remanescentes da Mata Atlântica está distribuída em pequenos fragmentos, suscetíveis a influência das bordas (80% da área remanescente está a menos de 100 m de distância das bordas), e isolados entre si (1440 m é a distância média entre remanescentes). Da Mata de Araucárias, Ribeiro et al. (2009) estimam que restam 32 mil km², 12,6% da área original. Assim como a Mata Atlântica como um todo, grande parte da Mata de Araucárias também está distribuída em pequenos fragmentos (<50 ha.), e sob forte influência das bordas (40-50% da área remanescente está a menos de 100 m da borda da mata) (RIBEIRO et al., 2009). Ribeiro et al. (2009) destacam a importância da preservação dos pequenos fragmentos de remanescentes, porque além de representar grande parcela da área total remanescente, são de extrema importância para a redução do isolamento entre os fragmentos maiores, conectando-os.

A Figura 9 ilustra a vegetação da bacia experimental. É importante ressaltar que a vegetação da bacia é secundária, em estágio de regeneração, rica em vegetação arbustiva e arvoretas, e com presença esparsa de árvores mais desenvolvidas. Nota-se a presença comum de xaxins, e a existência de taquarais e bromélias.

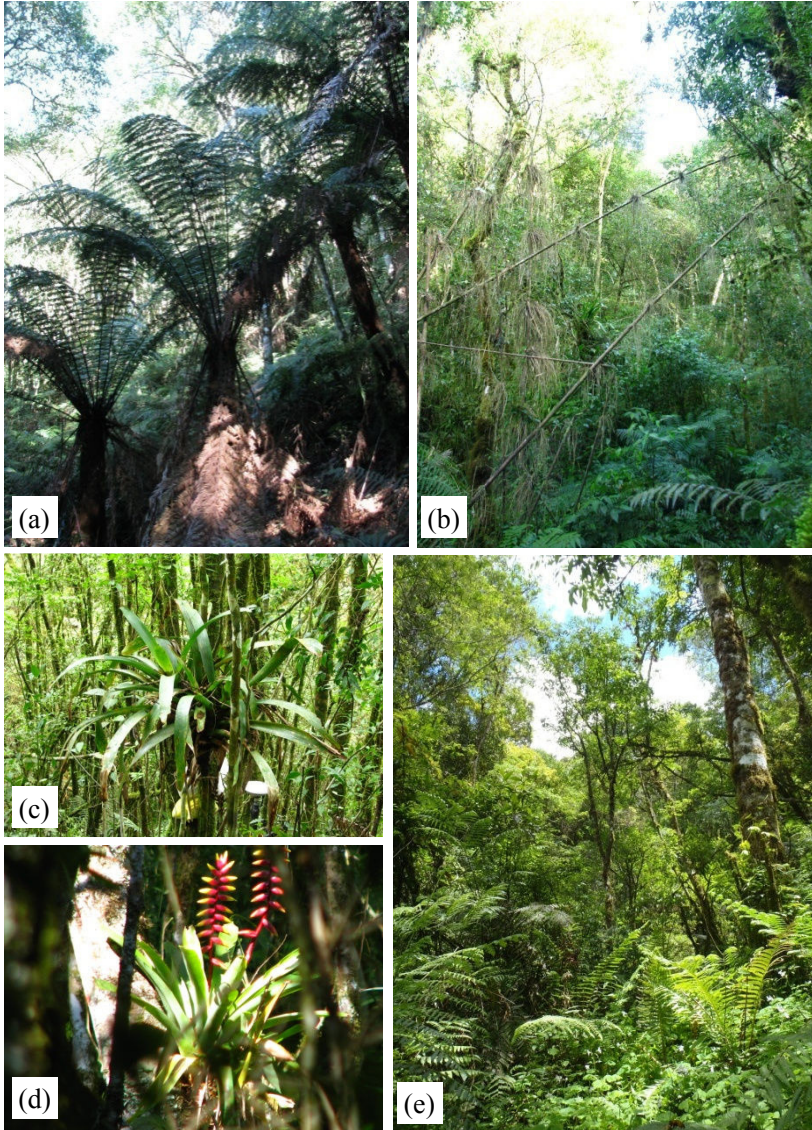


Figura 9. Fotografias da vegetação da bacia experimental: (a) xaxins; (b) taquaras; (c) e (d) bromélias; (e) árvores e vegetação arbustiva.

3.2. LOCAIS DE MONITORAMENTO

No interior da bacia experimental, 10 pontos foram estabelecidos para o monitoramento de chuva interna e cobertura florestal. As características e a localização desses pontos são apresentadas na Tabela 6 e na Figura 10. Na proximidade do coletor de chuva interna de cada um dos pontos A3 e B4, delimitou-se uma parcela para medição do escoamento de tronco e futuro monitoramento automático de chuva interna. Essas parcelas estão sinalizadas com um * na Tabela 6.

Esses dois locais, situados um em cada vertente da bacia, distam cerca de 60 m entre si (em planta), estão em terreno com declividades semelhantes (13° e 11°), com face voltada ao quadrante sul (SO e SE). Esses locais foram escolhidos por apresentar vegetação diferente entre si, mas com aparência mais desenvolvida que em outros pontos de monitoramento. Assim, espera-se melhor representar a vegetação em estágio desenvolvido da bacia.

Tabela 6. Características do terreno dos locais de monitoramento de chuva interna e cobertura florestal.

Ponto	Face	Declividade	Altitude	Distância do rio
A1-2	O	41°	886 m	3 m
A3	O	27°	893 m	11 m
A3*	SO	13°	894 m	16 m
A4	SO	11°	896 m	23 m
B1-2	L	42°	890 m	7 m
B3	L	30°	898 m	21 m
B4	SE	15°	911 m	45 m
B4*	SE	11°	910 m	48 m
VERT	SE	8°	880 m	1 m
Z1-2	SO	11°	894 m	5 m
Z3	SO	35°	897 m	15 m
Z4	SO	23°	907 m	42 m

*Parcelas de escoamento de tronco

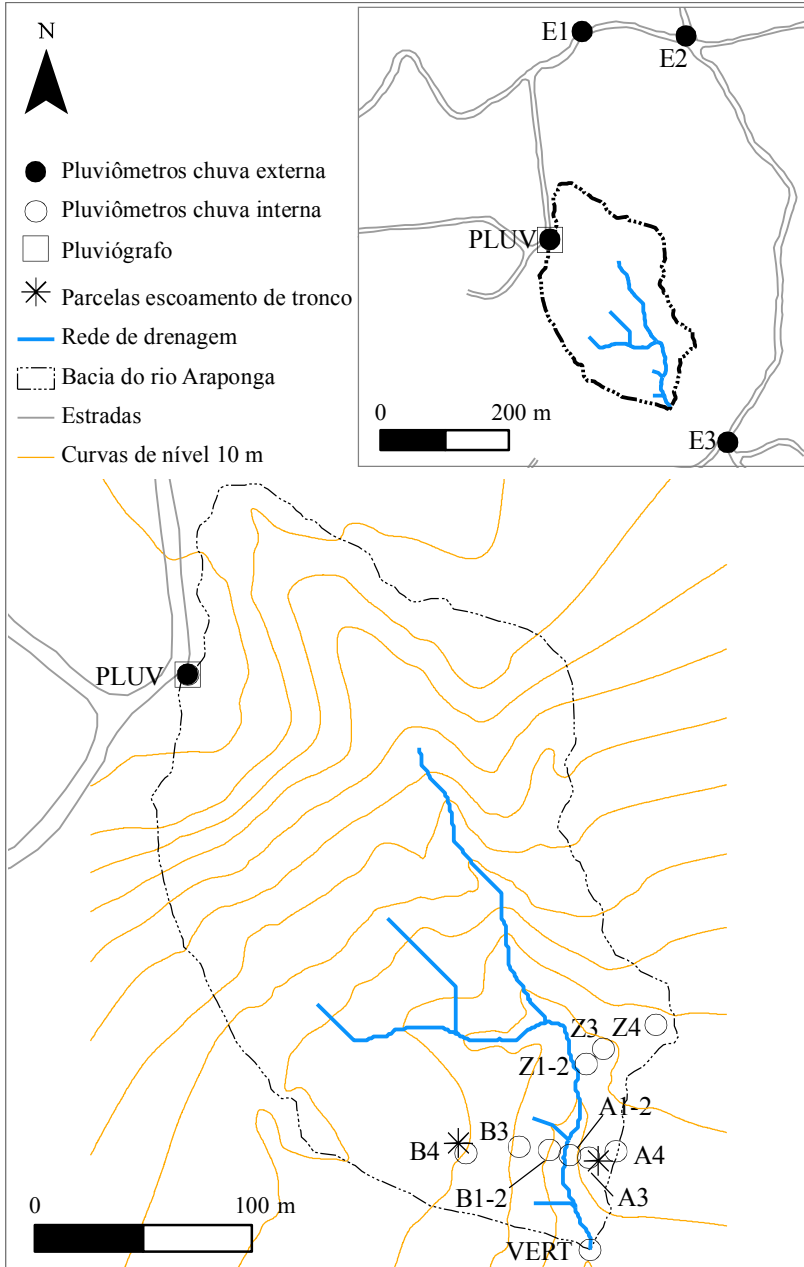


Figura 10. Localização dos pontos de monitoramento.

As parcelas foram planejadas para representar a área de influência de um futuro monitoramento automático de chuva interna, com pares de calhas de 3 m de comprimento, dispostas em forma de L. Para isso, após a escolha do posicionamento futuro das calhas, escolheu-se uma circunferência com raio de 3 m que envolvesse completamente o par de calhas e as principais árvores que as encobrem. Essa circunferência delimita a parcela utilizada para caracterização da vegetação e instalação do escoamento de tronco.

A vegetação de cada parcela foi caracterizada com o intuito de escolher as árvores mais representativas para a instalação dos coletores de escoamento de tronco. Em cada tronco, a circunferência do tronco à altura do peito foi medida com fita métrica, e o diâmetro à altura do peito (DAP) foi calculado a partir dessa informação. Para estimar a área da projeção das copas, mediu-se com trena o raio da projeção vertical de cada copa, em 8 direções (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° e 315°) (conforme SHINZATO et al., 2011). As árvores foram identificadas por um morador da região e funcionário da empresa Battistella Florestal – proprietária da fazenda onde a bacia experimental está inserida. As Tabela 7 e Tabela 8 apresentam o DAP, tamanho da copa, e nome popular das espécies presentes nas parcelas. Nessas tabelas, as linhas que contém dois valores de DAP se referem a arvoretas com bifurcação abaixo de 1,30 m de altura; nesses casos, os dois diâmetros foram tomados separadamente, mas a copa foi medida como uma única. Realizou-se levantamento planimétrico com estação total para conhecer o posicionamento dos indivíduos nas parcelas, e elaborar um croqui de cada parcela. Os croquis das parcelas são apresentados nas Figura 11 e Figura 12.

A partir dos nomes populares das árvores, procurou-se identificar a espécie e o nome científico correspondente (Tabela 9). Para esta atividade foram utilizadas bases de dados virtuais da vegetação da Floresta Ombrófila Mista e da região sul-brasileira. As buscas foram realizadas a partir dos nomes populares, e fotos e outras características existentes nas bases de dados foram utilizadas como apoio. Também foram utilizados como referência os trabalhos de Tres (2006 e 2010), que realizou levantamento de espécies vegetais na fazenda onde está a instalada a bacia experimental. A identificação das árvores teve o objetivo de oferecer mais informações sobre características morfológicas das árvores. Por essa razão, para algumas árvores optou-se por não definir a espécie, e sim apenas a família (como os guamirins) ou então sugerir algumas possíveis espécies.

Tabela 7. Características das árvores da parcela A3. DAP é diâmetro à altura do peito.

Parcela A3				
Árvore	Nome popular	DAP [cm]	Área da copa [m ²]	
01	Vassourão-branco	31,8	64,7	
02	Vassourão-branco	21,6	36,8	
03	Canela Santa Rita	6,0	2,5	
04	Cuvatã	1,9	1,4	
05	Voadeira	1,6	0,8	
06	Erva mate	3,5	0,9	
07	Árvore não identificada	2,9	1,2	
08	Caixeta	2,9	1,0	
09	Caixeta	2,2	0,5	
10 ¹	Guamirim branco	1,9/1,2	1,5	
11	Árvore não identificada	2,5	2,4	
12	Árvore não identificada	9,0	6,5	
13	Guamirim branco	3,2	0,9	
14	Árvore não identificada	4,5	1,0	
15	Caixeta	3,2	1,8	
16	Voadeira	7,2	8,6	
17	Caixeta	2,8	1,0	
18	Guamirim	9,2	9,7	
19	Cambuotã, Miguel Pintado	4,1	1,0	
20	Cajujo, Carne-de-vaca	2,2	0,5	
21	Pessegueiro-bravo	13,1	18,3	
22	Capororoca	1,3	0,4	
23	Cajujo, Carne-de-vaca	7,0	4,2	
24	Cuvatã	3,4	2,8	
25	Árvore não identificada	2,9	2,2	
26 ²	Jerivá	5,7	6,5	
27	Cajujo, Carne-de-vaca	3,1	0,9	
28	Maria-mole	17,5	44,1	
29	Árvore não identificada	3,5	2,2	
30	Árvore não identificada	2,1	0,9	
31	Erva mate	5,4	3,0	
32	Caixeta	2,9	0,6	
33	Caixeta	5,8	2,1	
34	Caixeta	1,5	0,2	
35	Capororoca	1,9	1,0	
36	Caixeta	3,0	0,5	
37	Árvore não identificada	2,7	1,7	
38	Cambuotã, Miguel Pintado	2,4	5,5	
39	Árvore não identificada	6,0	2,0	

¹ Árvore com bifurcação abaixo da altura do peito; DAP medido para cada segmento; área da copa medida para o conjunto dos dois segmentos.

² Palmeira sem caule à altura do peito; diâmetro medido a 0,80 m de altura.

Tabela 8. Características das árvores da parcela B4. DAP é diâmetro à altura do peito.

Parcela B4			
Árvore	Espécie	DAP [cm]	Área da copa [m ²]
40	Xaxim-espinhento	15,4	8,8
41	Árvore não identificada	1,3	0,4
42	Erva mate	4,9	2,6
43	Guamirim vermelho	1,5	0,4
44	Caixeta	1,7	0,2
45	Caixeta	3,3	1,2
46	Caixeta	1,8	1,1
47	Capororoca	2,7	0,4
48 ¹	Caixeta	6,0/4,0	5,3
49	Árvore não identificada	1,6	1,1
50	Guamirim vermelho	8,4	36,0
51	Canela-guaicá	1,0	0,5
52	Caixeta	2,9	1,0
53 ¹	Árvore não identificada	1,3/1,3	0,7
54 ¹	Árvore não identificada	1,5/1,4	0,5
55 ¹	Árvore não identificada	1,9/1,2	1,4
56	Guamirim vermelho	11,1	1,2
57	Caixeta	1,9	0,4
58	Caixeta	1,4	0,4
59	Guamirim vermelho	23,2	40,3
60	Erva mate	1,5	0,6
61 ¹	Caixeta	1,2/1,0	0,7
62	Caixeta	3,1	1,4
63	Cuvatã	3,2	0,2
64	Canela-guaicá	1,0	0,6
65	Cuvatã	14,3	17,9
66	Árvore não identificada	4,1	1,4
67	Árvore não identificada	4,5	1,3
68	Cuvatã	5,1	2,3
69	Capororoca	16,7	8,9
70	Árvore não identificada	1,6	0,7
71	Caixeta	2,8	0,9
72	Caixeta	2,1	0,7
73	Caixeta	1,9	0,5
74 ²	Cedro	14,0	–
75	Xaxim-espinhento	14,0	1,3
76	Xaxim-espinhento	11,1	0,4

¹ Árvores com bifurcação abaixo da altura do peito; DAP medido para cada segmento; área da copa medida para o conjunto dos dois segmentos.

² Árvore seca, sem copa.

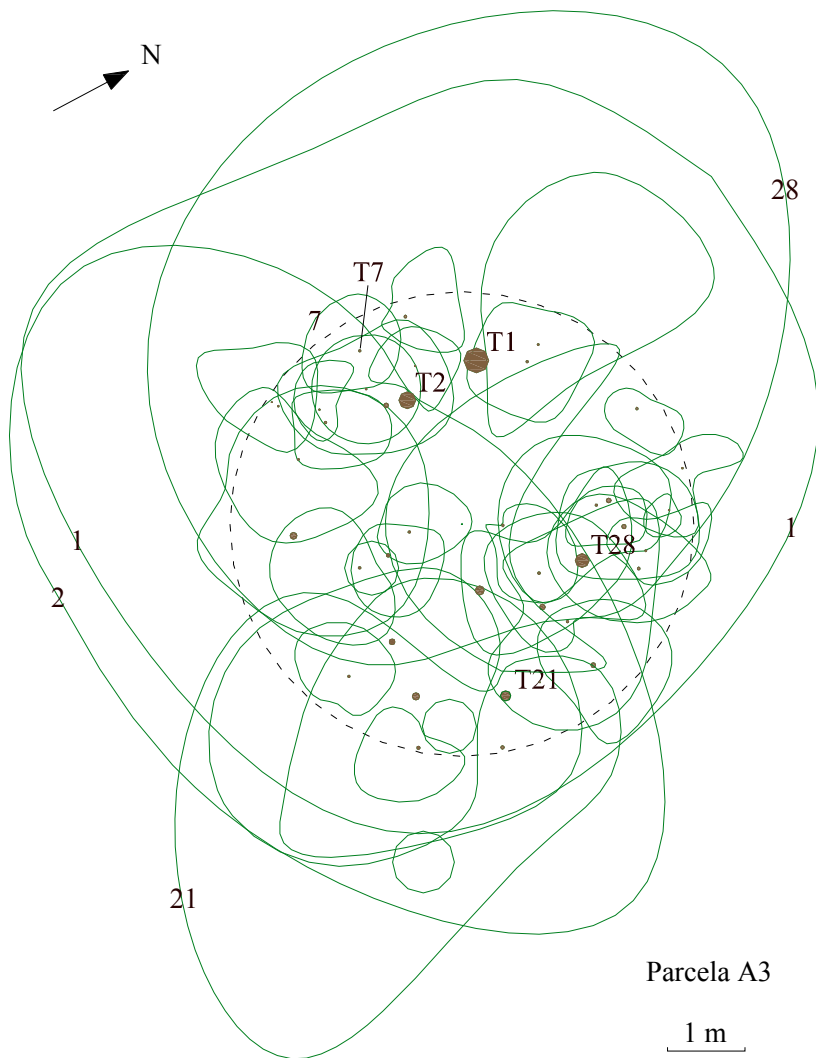


Figura 11. Croqui da parcela A3. Os contornos das copas (projeção ortogonal) estão em verde, os troncos em marrom e o limite da parcela em linha tracejada.

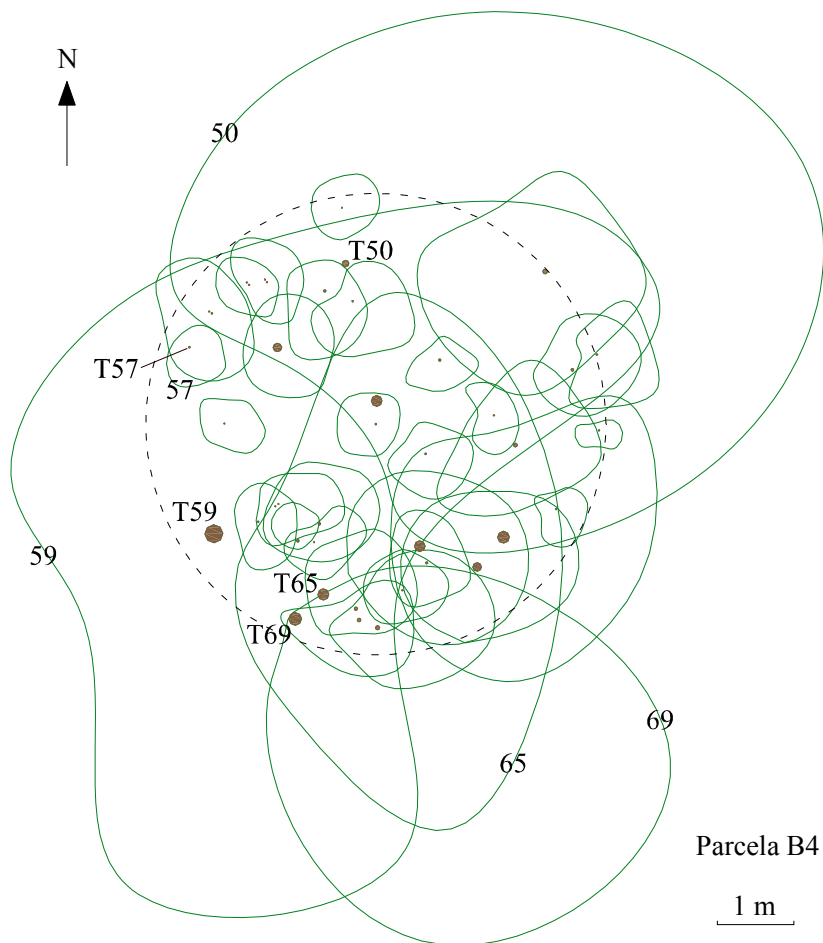


Figura 12. Croqui da parcela B4. Os contornos das copas (projeção ortogonal) estão em verde, os troncos em marrom e o limite da parcela em linha tracejada.

Tabela 9. Identificação das espécies encontradas nas parcelas A3 e B4.

Nome popular	Nome científico¹
Caixeta	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire, Steyererm. & Frodin ²
Cajujo, Carne-de-vaca	<i>Clethra scabra</i> Pers. ^{2,4,5,6}
Camboatã, Miguel-pintado	<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk. ^{2,4}
Canela-guaicá	<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees. ^{2,4}
Canela Santa Rita	<i>Laplacea fruticosa</i> (Schrad.) H. Keng ^{2,3}
Capororoca	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem & Schult. ^{2,4,5,6}
Cedro	<i>Cedrela fissilis</i> Vell. ^{2,4}
Cuvatã	<i>Cupania vernalis</i> Cambess. ^{2,4}
Erva-mate	<i>Ilex paraguariensis</i> St. Hil ^{2,4}
Guamirim-branco	Myrtaceae sp.1 ^{2,3,4,5,6}
Guamirim-vermelho	Myrtaceae sp.2 ^{2,3,4,5,6}
Jerivá	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman ^{2,4} <i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz ² <i>Sorocea bonplandii</i> (Baill.) W. C. Burger, Lanjow & Wess. Boer ⁴
Maria-mole	<i>Styrax leprosus</i> Hook. & Arn. ⁴ <i>Symplocos uniflora</i> (Pohl.) Benth. ^{3,4}
Pessegueiro-bravo	<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb. ^{2,4,5}
Vassourão-branco	<i>Vernonanthura discolor</i> (Spreng.) H. Rob. ^{2,4,5}
Voadeira	<i>Ilex brevicuspis</i> Reissek ^{2,3}
Xaxim	<i>Dicksonia sellowiana</i> Hook. ^{2,4}
Xaxim-espinhento	<i>Cyathea phalerata</i> Mart. ² <i>Cyathea atrovirens</i> (Langsd. & Fisch.) Domin ^{2,4}

¹ Possíveis espécies, identificadas nas fontes indicadas, a partir do nome popular e de fotografias disponíveis.

² GIEHL, 2012.

³ SAUERESSIG, 2012.

⁴ SCHWIRKOWSKI, 2009.

⁵ TRES, 2006.

⁶ TRES, 2010.

Em laboratório, as informações das parcelas foram utilizadas para a escolha das árvores que receberiam coletores de escoamento de tronco. A Tabela 10 apresenta as estatísticas descritivas dos DAP e áreas das copas das árvores das parcelas. Os histogramas dessas medidas são apresentados na Figura 13.

Tabela 10. Estatísticas das características das parcelas A3 e B4. DAP é diâmetro à altura do peito.

	Parcela A3		Parcela B4	
	DAP [cm]	Área da copa [m ²]	DAP [cm]	Área da copa [m ²]
Mínimo	1,2	0,2	1,0	0,2
Máximo	31,8	64,7	23,2	40,3
Amplitude	30,6	64,5	22,2	40,1
Mediana	3,1	1,7	2,4	1,0
Média	5,4	6,2	4,9	4,0

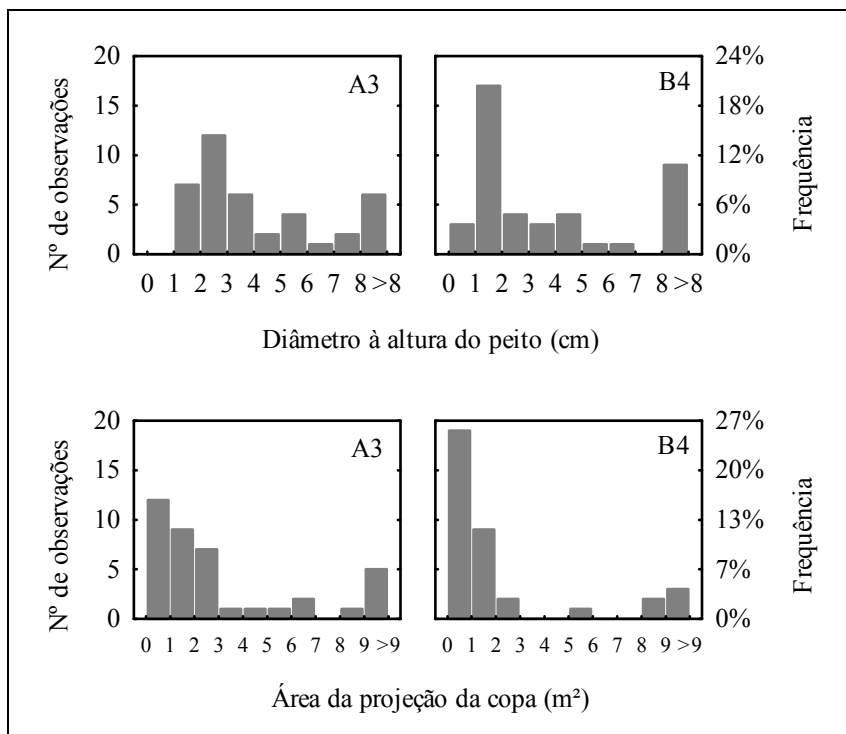


Figura 13. Histogramas do diâmetro à altura do peito e da área da projeção da copa das árvores das parcelas A3 e B4.

Nota-se que as parcelas A3 e B4 são semelhantes quanto à densidade de árvores (39 e 36 indivíduos em 28 m², respectivamente). A parcela A3 tem os DAP mais frequentes no intervalo de 2 a 3 cm. Nessa parcela, os DAP são mais bem distribuídos e maiores na média e na

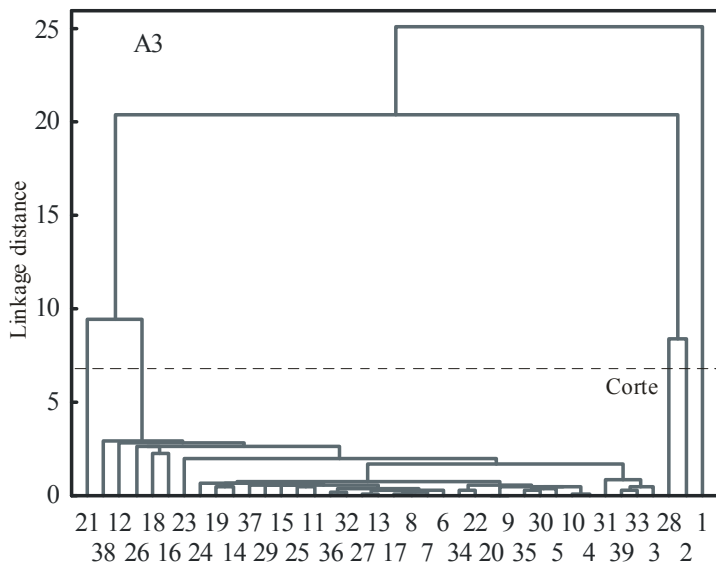
mediana que os da parcela B4. Esta tem os diâmetros concentrados na faixa de 1 a 2 cm, embora tenha mais árvores com DAP maior que 8 cm que a parcela A3. Quanto às copas, a parcela A3 tem as maiores copas. A parcela B4 tem a maioria das suas copas menores que 1 m², e suas maiores copas têm 17,9, 36 e 40,3 m².

Observou-se que poucas árvores em cada parcela representam a grande maioria da área de copa da parcela. As áreas das copas das árvores 01, 02, 21 e 28 (Tabela 7) somam 67% do total das áreas das copas da parcela A3. As áreas das copas das árvores 50, 59, 65 e 69 (Tabela 8) somam 72% do total das áreas das copas da parcela B4.

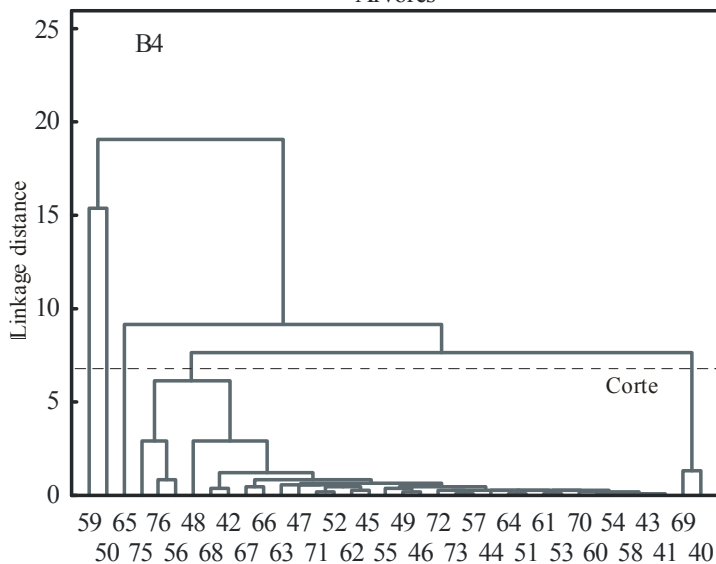
Uma análise de agrupamento, considerando o DAP e a área da projeção da copa de cada árvore, indicou que essas árvores se diferenciam das demais da parcela (Figura 14). Com base nos resultados dessa análise, as árvores foram ordenadas em duas classes:

Classe I: árvores com DAP > 15 cm ou área da copa > 10 m²;

Classe II: árvores com DAP ≤ 15 cm ou área da copa ≤ 10 m².



(a) Árvores



(b) Árvores

Figura 14. Dendrograma de agrupamento das árvores quanto ao diâmetro à altura do peito e a área de projeção da copa; (a) parcela A3, e (b) parcela B4.

3.3. MONITORAMENTO DE CHUVA TOTAL

O monitoramento automático de chuva total foi realizado com um pluviógrafo de balança conectado a um *data logger*, alimentados por bateria e painel solar. O pluviógrafo tem abertura com diâmetro de 20 cm, resolução de 0,24 mm, e correção automática da chuva conforme a intensidade. A altura de chuva e a quantidade de basculadas são registradas a cada 5 minutos. O pluviógrafo está instalado na cabeceira da bacia, na beira de uma estrada que coincide com o divisor de águas (Figura 10). Mais detalhes da instalação do pluviógrafo são fornecidos por Mota (2012).

A partir da série de dados de chuva obtida com o pluviógrafo, extraíram-se informações sobre as características das chuvas, tais como: duração e intensidade dos eventos, número de eventos e de dias sem chuva a cada período, entre outras.

Ao lado do pluviógrafo, um pluviômetro idêntico aos utilizados para medição de chuva interna foi instalado (descrição na seção 3.4), apoiado no chão e com a abertura a cerca de 40 cm de altura. Esse pluviômetro (de nome PLUV) foi utilizado para fornecer o volume acumulado de chuva externa nos intervalos de monitoramento. Assim, as alturas de chuva externa e interna foram medidas com dispositivos idênticos, evitando o erro sistemático oriundo da interferência de diferentes dispositivos de medição.

Durante o decorrer do trabalho, a inserção de pluviômetros adicionais foi idealizada para responder a uma dúvida incipiente: seria a chuva externa sobre a bacia realmente homogênea? A leitura do trabalho de Helvey & Patric (1965) incentivou essa intenção devido a dois comentários dos autores: (i) que os pluviômetros para medição de chuva externa e os coletores de chuva interna devem ser instalados em terreno com a mesma declividade; (ii) e que apesar de um único ponto de medição de chuva externa dar resultados satisfatórios para estudos em pequena escala, a inserção de mais pluviômetros aumenta a confiabilidade e a precisão dos dados de chuva externa.

Então, para verificar a homogeneidade da chuva total sobre a bacia experimental, três novos pluviômetros (E1, E2 e E3) foram instalados ao longo da estrada que contorna a bacia experimental. Tendo em vista a ampla variação de declividades dos locais onde os coletores de chuva interna foram instalados (ver seção 3.4), os novos pluviômetros foram posicionados em locais com diferentes declividades. Esses pluviômetros são semelhantes ao pluviômetro PLUV (descrição

acima) e aos pluviômetros de chuva interna (descrição na seção 3.4), também são apoiados no chão, mas têm área de captação de 221 cm².

Assim, o sistema de monitoramento de chuva total constitui de: um pluviógrafo de balança e um total de 4 pluviômetros (Figura 15 e Figura 10). Esses dispositivos e suas principais características estão resumidos na Tabela 11. É importante destacar que a menor área de captação dos pluviômetros caseiros em relação ao pluviógrafo padrão não prejudica a precisão das medições, como foi mostrado por Huff (1955⁹, citado por HELVEY & PATRIC, 1965).

Tabela 11. Dispositivos de monitoramento de chuva externa.

Dispositivo	Área de captação	Registro	Intervalo de tempo	Resolução	Altitude
Pluviógrafo	314 cm ²	Automático	5 min	0,24 mm	1004 m
PLUV	195 cm ²	Manual	15 dias	0,10 mm	1004 m
E1	221 cm ²	Manual	15 dias	0,10 mm	945 m
E2	221 cm ²	Manual	15 dias	0,10 mm	930 m
E3	221 cm ²	Manual	15 dias	0,10 mm	877 m

⁹ HUFF, F.A. Comparison between standard and small orifice rain gages. **Trans. Am. Geophys. Union**, v.36, p.689–694, 1955.

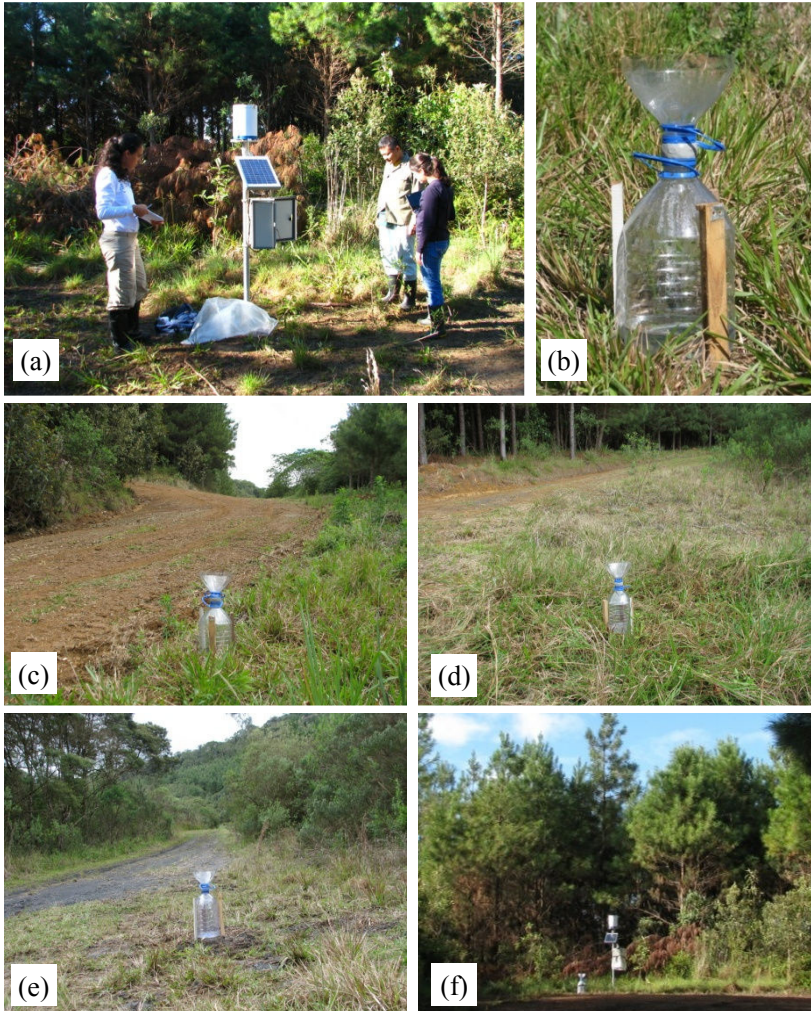


Figura 15. Instrumentos de monitoramento de chuva externa: (a) pluviógrafo; (b) pluviômetro PLUV; (c) pluviômetro E1; (d) pluviômetro E2; (e) pluviômetro E3; (f) pluviômetro PLUV ao lado do pluviógrafo.

3.4. MONITORAMENTO DE CHUVA INTERNA

A chuva interna na bacia experimental do rio Araponga foi medida com 10 pluviômetros distribuídos pela bacia (Figura 10, seção 3.2). Os pluviômetros foram construídos com garrafas PET (politereftalato de etileno). São constituídos de um funil com abertura de 195 cm² e um reservatório de 5 L, conectados por um orifício de cerca de 1 cm de diâmetro. As conexões foram construídas com as tampas das garrafas, emendadas com massa adesiva epóxi e vedadas com silicone. Para a fixação dos pluviômetros foram utilizados aros de alumínio e estacas de madeira (Figura 17 a e b). A utilização de coletor em forma de funil foi sugerida por Scatena (1990) para evitar perda de água por evaporação e respingos. O recipiente de armazenamento de 5 L foi escolhido entre as garrafas PET comerciais por ter volume suficiente para armazenar a chuva interna durante mais de 15 dias. Como conexão entre o funil coletor e o recipiente de armazenamento, optou-se por utilizar as tampas originais das garrafas para facilitar o manuseio e evitar o excesso de conexões – sujeitas a infiltrações e vazamentos. Então, as tampas receberam um orifício de 1 cm de diâmetro; foram coladas umas às outras, em pares, com adesivo para PVC; e fixadas com massa adesiva epóxi. Os pluviômetros foram instalados apoiados no chão, com a abertura a cerca de 40 cm de altura, para incluir no estudo a interceptação da água da chuva pela vegetação arbustiva e os xaxins (Figura 17 c).

Quanto à localização dos pluviômetros, 9 dos 10 pontos de monitoramento coincidem com pontos pré-existent de medição de tensão da água no solo (pontos A1-2, A3, A4, B1-2, B3, B4, Z1-2, Z3 e Z4), e um dos pontos (VERT) coincide com o local onde está instalado o vertedor da bacia (Figura 10). A localização dos pluviômetros nos locais onde já se realizava algum tipo de monitoramento foi uma opção para aproveitar os percursos já estabelecidos pela bacia, evitando-se assim excessivos deslocamentos, no intuito de preservar a integridade da vegetação e do solo. A proximidade aos tensiômetros foi também uma opção para possibilitar futuros estudos da dinâmica solo-planta-atmosfera.

O monitoramento dos pluviômetros foi realizado com frequência aproximadamente quinzenal. Durante os trabalhos em campo, mediu-se o volume armazenado em cada um dos pluviômetros. Para essa leitura, utilizou-se uma proveta de 250 mL com graduação de 2 mL (para

volumes a partir de 30 mL) e uma proveta de 100 mL e graduação de 1 mL (para volumes inferiores a 30 mL).

Pode-se considerar, com base em Lloyd & Marques (1988), que o arranjo com 10 coletores, mesmo sem relocação, oferece uma estimativa satisfatória de chuva interna, com erros entre 10% e 15% em relação a média.



Figura 16. Pluviômetro para medição de chuva interna: (a) vista lateral; (b) vista superior.

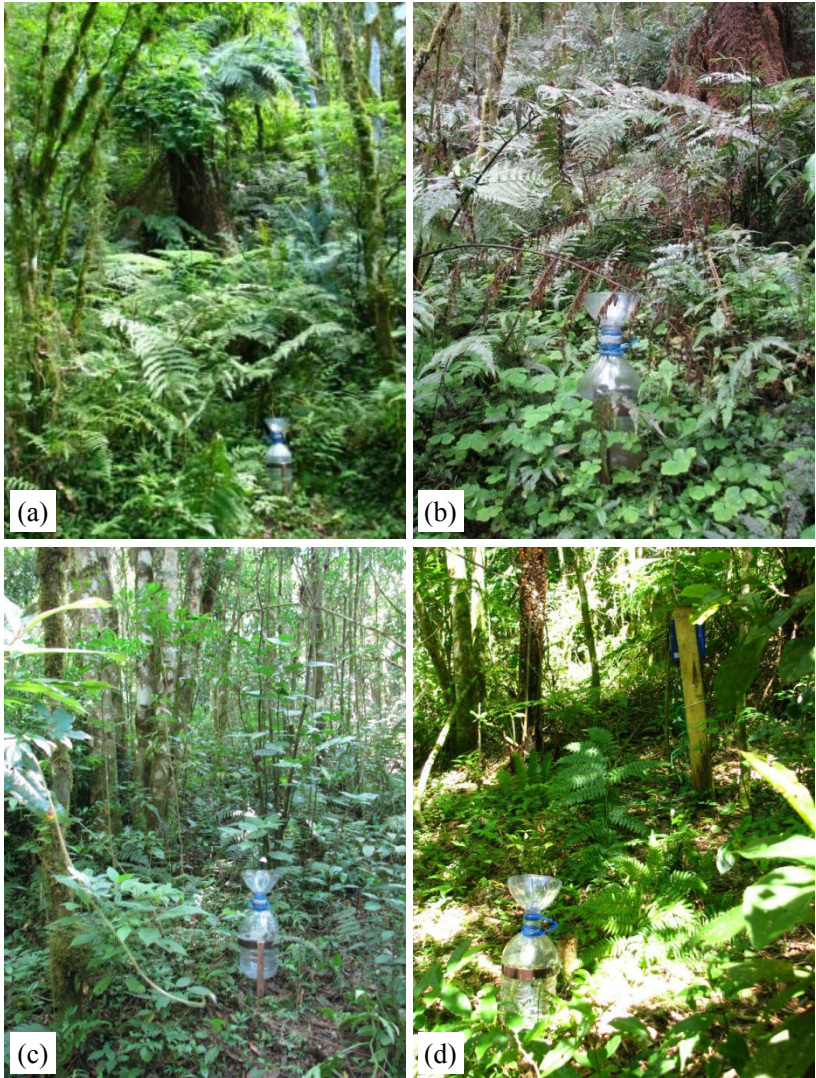


Figura 17. Pluviômetros entre a vegetação nos pontos: (a) Z4; (b) VERT; (c) A4; e (d) B4, próximo à bateria de tensiômetros (ao fundo).

3.5. MONITORAMENTO DO ESCOAMENTO DE TRONCO

Os volumes de escoamento de tronco foram medidos em 5 árvores em cada uma das parcelas A3 e B4 (28,3 m² cada), com coletores do tipo espiral e do tipo colar (Figura 18), escolhidos de acordo com o diâmetro das árvores. Os coletores do tipo espiral foram utilizados em árvores com DAP maior que 10 cm; nas árvores com DAP de até 10 cm, utilizou-se coletor do tipo colar.

Para armazenar a água coletada, utilizou-se garrafas PET de 5 L e 10 L. E para direcionar o fluxo desde o coletor até o recipiente de armazenamento, foram utilizadas mangueiras de PVC (policloreto de vinila) transparente e flexível, de 3/4" (\approx 2 cm) e de 1/2" (\approx 1,3 cm) de diâmetro.

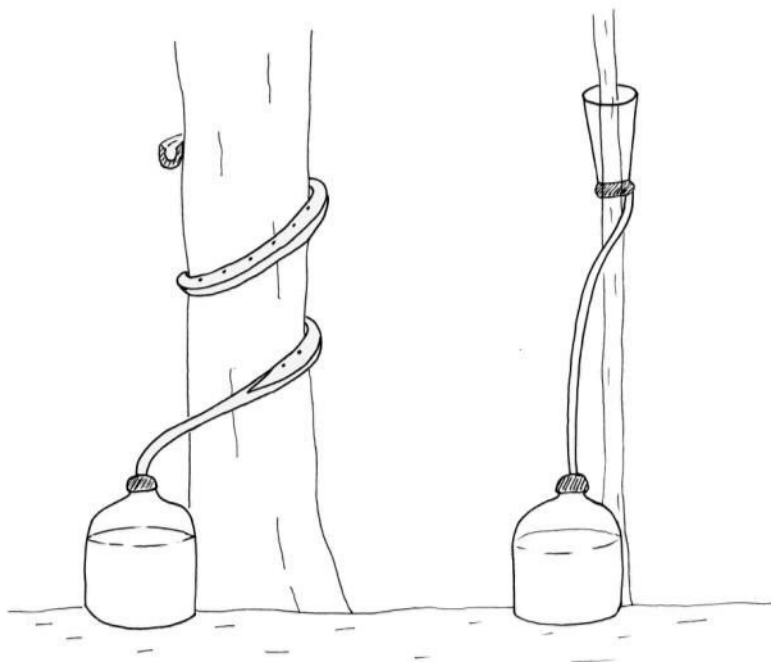


Figura 18. Coletores do tipo espiral (esq.) e colar (dir.) conectados a recipiente de armazenamento de água, para monitoramento de escoamento de tronco.

3.5.1. Amostragem

Devido à heterogeneidade da vegetação ao longo da bacia, e à variedade de espécies e tamanhos de árvores, foi preciso escolher um método de amostragem para estimar o escoamento de tronco da bacia. A quantidade de coletores deveria não só satisfazer a necessidade de amostrar árvores suficientes para representar a vegetação da bacia, mas também ser compatível com a realidade dos trabalhos de campo (2 a 3 pessoas trabalhando, durante 1 a 2 dias na bacia, a cada duas semanas). O método de amostragem escolhido envolve duas aproximações:

- 1) A escolha de parcelas representativas da bacia;
- 2) A escolha de classes de DAP e área da copa que representem a vegetação da parcela.

Conforme descrito na seção 3.2, as parcelas de 28 m² foram delimitadas próximo aos pontos de monitoramento A3 e B4, e as classes de árvores são:

Classe II: árvores com DAP > 15 cm ou área da copa > 10 m²;

Classe I: árvores com DAP ≤ 15 cm ou área da copa ≤ 10 m².

Decidiu-se por incluir todas as árvores da classe I no monitoramento de escoamento de tronco por dois motivos: (i) essas árvores diferem significativamente da maioria das árvores das parcelas; (ii) essas árvores têm as maiores copas e maiores DAP. A exceção é o xaxim (árvore 40 da parcela B4), que embora pertencesse à classe I, não recebeu coletor de escoamento de tronco porque nenhuma maneira de medir o escoamento de tronco nesta espécie foi encontrada. Entretanto, as características morfológicas dessa árvore sugerem uma grande capacidade de armazenamento de água no tronco, e não de escoamento.

Entre as árvores da classe II, escolheu-se um indivíduo de cada parcela como árvore típica daquela parcela. Foi escolhido o indivíduo cujo DAP e área da projeção da copa coincidissem com os valores mais frequentes da parcela. As árvores escolhidas para instalação dos coletores de escoamento de tronco são apresentadas na Tabela 12. Cada tronco onde foi instalado coletor de escoamento foi nomeado com o número da árvore (das Tabela 7 e Tabela 8, seção 3.2) acrescido de um “T” no início.

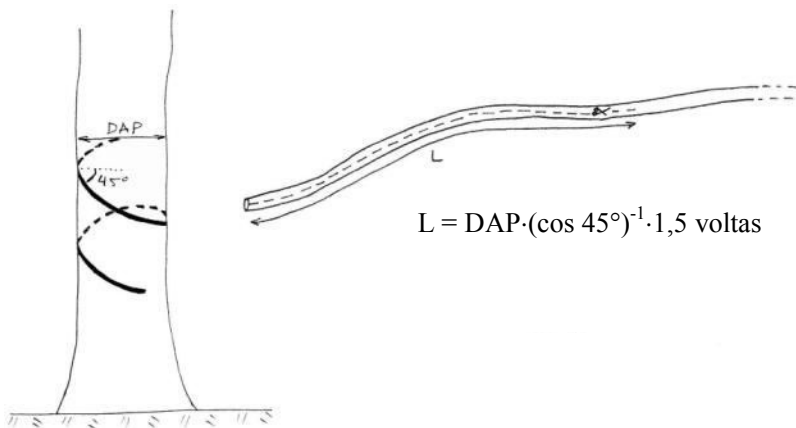
Tabela 12. Características das árvores e coletores para medição de escoamento de tronco.

Ponto	Tronco	Espécie	Tipo de coletor	DAP [cm]	Área da copa [m²]
A3	T1	Vassourão branco	espiral	31,8	64,7
	T2	Vassourão branco	espiral	21,6	36,8
	T7	Árvore não identificada	colar	2,9	1,2
	T21	Pessegueiro bravo	espiral	13,1	18,3
	T28	Maria-mole	espiral	17,5	44,1
			Média	17,4	33,0
B4	T50	Guamirim vermelho	colar	8,4	36,0
	T57	Caixeta	colar	1,9	0,4
	T59	Guamirim vermelho	espiral	23,2	40,3
	T65	Covatã	espiral	14,3	17,9
	T69	Capororoca	espiral	16,7	8,9
			Média	12,9	20,7

3.5.2. Instalação

A instalação desses sistemas foi realizada durante o período de 27/09 e 04/10/2012. Primeiramente, procurou-se em campo as árvores previamente escolhidas em laboratório, para verificar se havia algum impedimento para a instalação do sistema nas mesmas. Para o ponto A3, as árvores 07 e 08 (Tabela 7, seção 3.2) haviam sido pré-selecionadas como mais representativas da classe II. Em campo, a árvore 07 foi escolhida por ter o tronco mais retilíneo e aparência mais saudável. Para o ponto B4, as árvores 43, 58 e 60 (Tabela 8, seção 3.2) haviam sido selecionadas em laboratório como representativas da classe II. Em campo, as árvores pré-selecionadas foram descartadas por serem muito frágeis, e a árvore 57 foi escolhida para substituí-las, por ter DAP e área da copa semelhantes às da pré-seleção.

Antes de instalar as mangueiras, estas receberam um corte no seu sentido longitudinal, de uma extremidade, até o comprimento suficiente para dar uma volta e meia no tronco, em ângulo aproximado de 45° (Figura 19).



$$L = DAP \cdot (\cos 45^\circ)^{-1} \cdot 1,5 \text{ voltas}$$

Figura 19. Procedimento para o corte longitudinal das mangueiras.

Depois de determinadas as árvores nas quais a instalação seria realizada, descascou-se parcialmente o tronco delas, à altura do peito, para eliminar rugosidades e facilitar a instalação das mangueiras (Figura 20a).

As mangueiras cortadas foram pregadas na árvore, a partir da altura do peito, com aproximadamente 45° de inclinação para baixo, até completar 1,5 volta no tronco (Figura 20b). Deixou-se um pedaço excedente da mangueira, sem corte, para conduzir o fluxo até o recipiente de armazenamento.

Para finalizar a instalação das mangueiras, aplicou-se silicone nas frestas entre a mangueira e o tronco, para vedação (Figura 20c e Figura 20d).

Para o armazenamento da água coletada, utilizou-se garrafas de PET, de 10 L (nas árvores da classe I) e de 5 L (nas árvores da classe II) (Figura 22 a e b).

Para conectar perfeitamente o coletor e o recipiente de armazenamento, três condições precisavam ser satisfeitas: (a) impedir vazamentos; (b) impedir infiltrações; (c) e possibilitar a abertura e fechamento da tampa, de maneira prática, cada medição. Para satisfazer a última condição, optou-se por utilizar a própria tampa de cada garrafa. Então fez-se um orifício nas tampas do diâmetro das mangueiras, encaixou-se a mangueira no orifício da tampa, e utilizou-se massa adesiva epóxi para fixar a mangueira na tampa (Figura 20 g). Assim, as duas condições anteriores também foram satisfeitas.

Nas árvores com DAP menor que 10 cm, não foi possível a instalação de coletores do tipo espiral com mangueira de PVC. Em uma dessas árvores, a árvore 07 da parcela A3, tentou-se inicialmente instalar um coletor do tipo espiral moldado com massa adesiva epóxi. Entretanto, a execução se mostrou mais demorada e onerosa que o esperado, e o resultado não foi satisfatório. Então, em alternativa ao coletor em espiral, instalou-se nessas árvores coletores do tipo colar construído com tiras de PET e massa adesiva epóxi (Figura 21).

Para a construção desses coletores, primeiramente recortou-se tiras de PET de 5 a 10 cm de largura, textura lisa, e comprimento suficiente para envolver o tronco com sobra. Depois de cortadas, cada tira foi posicionada em torno do tronco, dando forma a um tronco de cone, com a base inferior com espaço suficiente para encaixar a mangueira, e na base superior, um vão livre de até 1 cm entre o tronco e o coletor. As extremidades sobrepostas, previamente lixadas, foram coladas com adesivo para PVC. Depois de seca a cola e verificada a aderência entre as extremidades da tira de PET, a mangueira foi encaixada e aplicou-se massa adesiva epóxi para fixar o conjunto colar + mangueira no tronco. Essa etapa foi cuidadosamente executada para evitar a criação de: depressões, obstáculos ao fluxo, pontos de infiltração ou vazamento de água.

O sistema de armazenamento de água coletada é idêntico ao descrito anteriormente.



Figura 20. Instalação dos coletores do tipo espiral. (a) Preparação do tronco; (b) fixação da mangueira; (c) e (d) aplicação de silicone; (e) e (f) coletor instalado; (g) moldando a tampa com massa adesiva epóxi.



Figura 21. Instalação dos coletores do tipo colar. (a) Aplicação da massa adesiva epóxi; (b) e (c) moldando a massa adesiva epóxi; (d) e (e) coletores instalados; (f) detalhe do coletor.



Figura 22. Recipientes de armazenamento. (a) Detalhe da tampa; (b) e (c) recipientes cheios após chuva intensa.

3.5.3. Estimativa

O escoamento de tronco foi monitorado durante o período de 09/10/2012 a 20/12/2012, com frequência aproximadamente quinzenal. Em campo, foram medidos os volumes acumulados no período, oriundos de cada árvore individualmente. A partir desses volumes, a altura de escoamento de tronco gerada em cada evento foi estimada com dois métodos:

- I) O volume total de escoamento de tronco da parcela foi estimado como a soma dos volumes de escoamento de tronco das árvores classe I mais o volume de escoamento de tronco da árvore classe II multiplicado pelo número de árvores de classe II (Eq. 3.1); finalmente, o escoamento de tronco (mm) gerado na parcela foi obtido dividindo o volume total de escoamento de tronco da parcela pela área da mesma (Eq. 3.2). Ou seja:

$$Sf_{L,parcela} = Sf_{L,I} + n_{II} \cdot Sf_{L,II} \quad (3.1)$$

onde $Sf_{L,parcela}$ é o volume de escoamento de tronco da parcela (L); $Sf_{L,I}$ é a soma dos volume de escoamento de tronco das árvores classe I da parcela (L); n_{II} é o número de árvores da classe II na parcela; e $Sf_{L,II}$ é o volume de escoamento de tronco da árvore típica da classe II da parcela (L).

$$Sf_{mm,parcela} = \frac{Sf_{L,parcela}}{A_{parcela}} \quad (3.2)$$

onde $Sf_{mm,parcela}$ é a altura de escoamento de tronco da parcela (mm); e $A_{parcela}$ é a área da parcela (m²).

II) Para as árvores da classe I, o escoamento de tronco em milímetros de cada árvore é o volume de escoamento de tronco da árvore dividido pela área da projeção da copa (Eq. 3.3); para as árvores da classe II, o escoamento de tronco (mm) é igual ao da árvore classe II com medição naquela parcela (Eq. 3.4); finalmente, o escoamento de tronco (mm) gerado na parcela foi estimado como a média do escoamento de tronco (mm) de todas as árvores da parcela (Eq. 3.5).

$$Sf_{mm,i} = \frac{Sf_{L,i}}{A_{copa,i}} \quad (3.3)$$

onde $Sf_{mm,i}$ é a altura de escoamento de tronco de cada i árvore da classe I (mm); $Sf_{L,i}$ é o volume de escoamento de tronco de cada i árvore da classe I e $A_{copa,i}$ é a área da projeção da copa de cada árvore i (m²).

$$Sf_{mm,j} = \frac{Sf_{L,II}}{A_{copa,II}} \quad (3.4)$$

onde $Sf_{mm,j}$ é a altura de escoamento de tronco de cada j árvore da classe II (mm); $A_{copa,II}$ é a área da projeção da copa da árvore típica da classe II (m²).

$$Sf_{mm,parcela} = \frac{\sum Sf_{mm,i} + n_{II} \cdot Sf_{mm,j}}{n} \quad (3.5)$$

onde $Sf_{mm,parcela}$ é a altura de escoamento de tronco da parcela (mm); e n é o número de árvores da parcela.

3.6. MONITORAMENTO DA COBERTURA FLORESTAL

O índice de cobertura do dossel foi estimado com fotografias do dossel digitalmente processadas para classificação dos pixels em duas classes: (i) cobertura e (ii) abertura.

As fotografias foram capturadas a partir do centro de cada pluviômetro instalado no interior da bacia (A1-2, A3, A4, B1-2, B3, B4, VERT, Z1-2, Z3 e Z4), com frequência mensal. As datas das fotografias estão indicadas na terceira coluna da Tabela 5.

3.6.1. Obtenção das fotografias

As fotografias foram capturadas com máquina fotográfica digital *Canon PowerShot S5 IS*, com resolução de 3264 x 3448 pixels. Para auxiliar a captura das fotos, foi construída uma plataforma portátil, de compensado de 28 cm de lado, com três barras roscadas de 25 cm de comprimento com função de nivelamento e apoio, e dois níveis de bolha acoplados. No momento da captura das fotos, a plataforma é instalada no chão do local escolhido e nivelada (Figura 23 a e b). A máquina é então apoiada em cima da plataforma, com a lente direcionada para cima (Figura 23 c e d). Finalmente, o disparo é configurado para ser realizado após espera de 2 segundos. Houve duas razões para a utilização dessa plataforma: (i) para incluir a vegetação arbustiva no estudo, escolheu-se fazer a captura das fotos a partir do nível do chão; (ii) os níveis de bolha permitem que o centro das fotos coincida com o azimute.



Figura 23. Instrumentos para aquisição de fotografias da cobertura florestal: (a) vistos de longe, entre a vegetação; (b) durante operação; (c) vistos de cima; (d) detalhe.

3.6.2. Cálculo do índice de cobertura do dossel

De cada fotografia extraiu-se um círculo central, de diâmetro igual a 45% da diagonal da fotografia. Esse círculo foi definido para minimizar os efeitos de distorção radial das fotografias. Para avaliar as distorções, desenharam-se quadrículas de 10 cm em um quadro branco; fotografou-se o quadro com a mesma câmera fotográfica utilizada em campo, posicionada de frente para o centro do quadro, nivelada e apurada; em software de desenho técnico, sobrepôs-se à fotografia

uma quadrícula, com centro coincidindo com o centro da foto; e escolheu-se a região da foto em que as linhas da fotografia e da quadrícula coincidem (Figura 24). Na figura, a quadrícula da fotografia está em linhas contínuas; a quadrícula padrão está em linhas tracejadas; linhas vermelhas são as diagonais da foto; a circunferência vermelha delimita a área onde a distorção radial foi considerada insignificante.

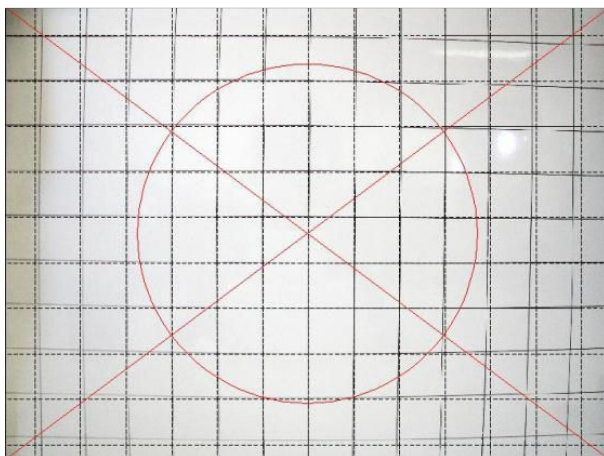


Figura 24. Determinação do círculo com distorção radial insignificante.

Os círculos extraídos das fotografias passaram a constituir o banco de fotografias da cobertura florestal, e as fotos originais foram descartadas. Portanto, a partir deste momento, o termo “fotografia da cobertura florestal” passa a se referir aos círculos extraídos das fotografias originais e não às fotos em toda a sua extensão.

As fotografias foram então classificadas em duas classes: “cobertura” e “abertura”. A classe “cobertura” representa os elementos da vegetação, i.e., folhas, galhos e troncos. A classe “abertura” representa os intervalos do dossel livres de vegetação, onde se vê o céu na fotografia. Para a classificação das fotografias, utilizou-se o software *ImageTool* 3.0, desenvolvido pelo Centro de Ciências da Saúde da Universidade do Texas (UTHSCSA). No ambiente do software, cada imagem foi primeiramente convertida em escala de cinza. Em seguida, seus pixels foram classificados em dois intervalos de intensidade de cinza, e transformados em imagens binárias, em preto e branco. Os pixels pretos representam a classe “cobertura”, e os brancos representam a classe “abertura”. Os pixels foram classificados de acordo com a intensidade do cinza, através da ferramenta *Manual threshold*, que, a

partir do histograma da imagem em escala de cinza, permite que se escolha o intervalo do histograma a ser destacado do restante. Então se destacou a extremidade de maior intensidade do histograma. Os critérios utilizados para essa separação foram: (i) pontos de inflexão do histograma; e (ii) inspeção visual. Assim, os pixels de maior intensidade (i.e., que tendem ao branco) foram transformados em pixels brancos, próprios da classe “abertura”; e os pixels de menor intensidade (i.e., que tendem ao preto) foram transformados em pixels pretos, próprios da classe “cobertura”.

Depois de classificados, os pixels foram contados automaticamente, através da função *Count Black/White pixels*. Por fim, determinou-se, para cada fotografia, o índice de cobertura do dossel (Eq. 3.5).

$$ICD = 100 \cdot \frac{N_p}{N_p + N_b} \quad (3.5)$$

onde ICD é o índice de cobertura do dossel; N_p é o número de pixels pretos; e N_b é o número de pixels brancos.

O ICD aqui obtido é equivalente à fração de cobertura da copa c , mencionada na seção 2.4. Optou-se por utilizar o termo ICD por ser frequentemente utilizado na literatura em português quando o c é estimado a partir de fotografias.

3.7. ANÁLISE DE DADOS

As informações de chuva externa, chuva interna, escoamento de tronco e cobertura florestal foram analisadas com auxílio da estatística descritiva e de análise de agrupamento.

A estatística descritiva foi utilizada principalmente para comparar as variáveis quanto à tendência central e dispersão dos dados. Como medidas de tendência central dos dados foram utilizadas: a média (me); a mediana (md); e a moda (mo). Como medidas de dispersão foram utilizadas: a amplitude (A), definida pela diferença entre o valor máximo e o mínimo das observações; o desvio padrão (dp); e o coeficiente de variação de Pearson (CV), definido como a razão entre média e desvio padrão.

Para as análises de agrupamento, utilizou-se o método *Tree joining* com *complete linkage* e distância euclidiana. Esse é um método de agrupamento hierárquico, com a proximidade entre dois grupos definida como a máxima distância euclidiana entre os objetos mais distantes de cada grupo.

Para as análises dos dados de chuva externa, foi necessário separar os eventos de chuva da série de dados de 5 minutos de intervalo, e 368 dias de extensão. Para essa separação, era preciso escolher um método adequado para o estudo de interceptação. Loeschner et al. (2002) definiram um evento como contendo um período de secagem da porção superior da copa. Entretanto, não explicaram como determinaram esses períodos. Hewlett (1982) menciona que, para fins de estimar a interceptação, um período seco de 12 horas é necessário para separar dois eventos de chuva consecutivos.

Aqui, os eventos foram definidos com o uso de dois critérios: (1) a ocorrência de 12 horas consecutivas sem registro de chuva define o fim do evento, conforme Hewlett (1982); (2) eventos com altura de chuva acumulado inferior a 1 mm foram descartados. Considera-se que nesses eventos de até 1 mm, 100% da água precipitada evapora ou é armazenada na vegetação.

Análise de agrupamento foi utilizada para verificar a existência de comportamento sazonal na chuva externa sobre a bacia experimental. As variáveis utilizadas para essa análise foram: altura de chuva, intensidade máxima, número de eventos, e número de dias secos, para cada período de monitoramento. Previamente às análises, as variáveis foram divididas pela duração de cada período (exceto a variável intensidade máxima), e depois padronizadas (média nula e desvio padrão unitário). Três períodos foram excluídos da análise de agrupamento sazonal: 17/12/11 a 11/01/12, 11 a 19/01/12 e 16 a 18/07/12. Por serem períodos de tamanhos muito diferentes dos demais, estes poderiam adicionar uma tendência à análise.

A perda por interceptação pela copa na bacia experimental foi estimada a partir das medidas de chuva externa, chuva interna e escoamento de tronco. O conceito utilizado para a estimativa é o de que a perda por interceptação pela copa é a diferença entre a chuva externa e a soma da chuva interna e com o escoamento de tronco, conforme a Eq. 2.4, apresentada na seção 2.1.3.

Quanto ao escoamento de tronco, não há informação de todos os locais de monitoramento nem de todos os períodos monitorados. As medidas desse processo se restringem aos períodos 22 a 26 e foram coletadas nos locais A4 e B3. Para estimar as perdas por interceptação pela copa na bacia em todo o ano de monitoramento de chuva externa e chuva interna, é necessário extrapolar essas medidas para os outros (1 a 21) e para os outros locais. Então as seguintes hipóteses foram estabelecidas:

- a) O escoamento de tronco é igual, em altura e percentual, em todos os locais de monitoramento.
- b) O escoamento de tronco é semelhante em todos os períodos monitorados.

A partir das informações disponíveis de escoamento de tronco, e das hipóteses apresentadas, três métodos foram utilizados para estimar as perdas por interceptação pela copa:

Método I: Os escoamentos de tronco (mm) em toda a bacia e em todos os períodos têm média igual à das parcelas A3 e B4, nos períodos 22 a 26.

Método II: Os percentuais de escoamento de tronco em relação à chuva externa, em toda a bacia e em todos os períodos, têm média igual à das parcelas A3 e B4, nos períodos 22 a 26.

Método III: O escoamento de tronco, em toda a bacia e em todos os períodos, é em média igual a 2,7% da chuva externa até atingir um máximo de 1,9 mm. Depois de atingir esse limite, passa a ser constante e igual a 1,9 mm.

Quando algum dos métodos resultou em valores negativos de perda por interceptação (em mm ou %), reduziu-se o escoamento de tronco até que a perda por interceptação resultasse nula.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CHUVA EXTERNA

A chuva externa, durante o período de monitoramento de 17/12/2011 a 20/12/2012, somou 1621 mm distribuídos em 88 eventos. Em 206 dos 368 dias (56%) não houve chuva. A distribuição das alturas de chuva em cada período e as características da chuva externa nos períodos monitorados são apresentadas na Figura 25 e na Tabela 13, respectivamente. Os períodos foram caracterizados quanto a: número de dias do período, número de eventos, número de dias sem chuva (*Nds*), volume acumulado de chuva no período (*P*), e intensidade máxima de chuva durante o período (*Imáx*). A descrição de cada evento é apresentada no Apêndice A, onde constam as seguintes informações de cada evento: número de dias sem chuva antes do evento; volume, duração, intensidade e intensidade máxima.

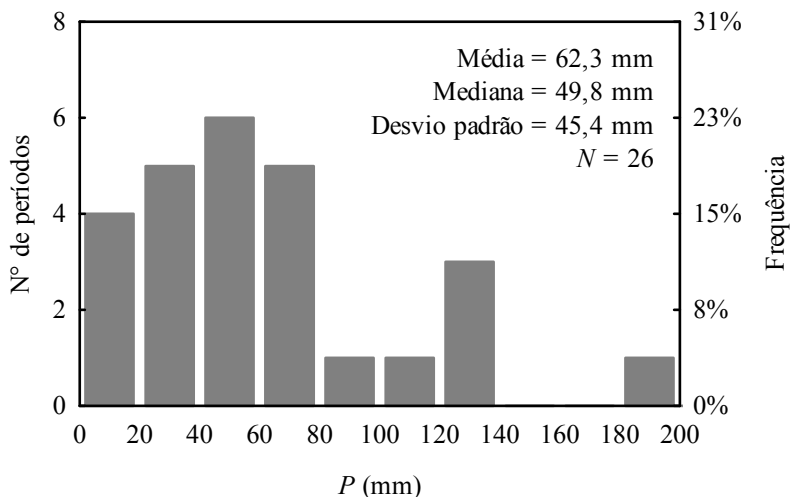


Figura 25. Histograma da chuva externa nos períodos de monitoramento.

Tabela 13. Características dos períodos de monitoramento quanto à chuva externa.

	Período		Nº de dias	Nº de eventos	Nds ¹	P ² mm	Imáx ³ mm/10min	
	Nº	início						fim
verão	1	17/12/11	11/01/12	25	8	10	133,8	14,1
	2	11/01/12	19/01/12	8	2	3	73,9	9,0
	3	19/01/12	31/01/12	12	4	6	76,0	11,5
	4	31/01/12	15/02/12	15	4	10	24,2	1,7
	5	15/02/12	01/03/12	15	6	6	36,3	5,5
	6	01/03/12	16/03/12	15	1	14	13,8	3,1
outono	7	16/03/12	29/03/12	13	3	8	24,8	5,1
	8	29/03/12	11/04/12	13	2	11	26,0	8,7
	9	11/04/12	27/04/12	16	4	11	132,2	5,4
	10	27/04/12	09/05/12	12	3	7	52,6	3,8
	11	09/05/12	25/05/12	16	4	9	93,9	5,9
	12	25/05/12	12/06/12	18	3	6	182,2	5,3
inverno	13	12/06/12	27/06/12	15	3	7	54,1	4,1
	14	27/06/12	16/07/12	19	4	14	40,7	4,1
	15	16/07/12	18/07/12	2	1	0	45,8	5,3
	16	18/07/12	03/08/12	16	4	8	135,7	9,0
	17	03/08/12	15/08/12	12	0	12	0,0	0,0
	18	15/08/12	30/08/12	15	1	12	5,5	0,5
	19	30/08/12	13/09/12	14	3	9	47,0	11,1
primavera	20	13/09/12	27/09/12	14	3	7	46,6	10,9
	21	27/09/12	09/10/12	12	4	4	19,1	2,1
	22	09/10/12	24/10/12	15	3	6	109,6	5,7
	23	24/10/12	06/11/12	12	5	5	64,5	8,8
	24	06/11/12	20/11/12	14	3	7	76,7	18,4
	25	20/11/12	06/12/12	16	6	7	66,2	12,7
	26	06/12/12	20/12/12	14	4	7	39,9	6,3
Total	17/12/2011	20/12/2012	368	88	206	1621,1	18,4	

¹ Nds é número de dias sem evento de chuva

² P é altura acumulada de chuva externa

³ Imáx é intensidade máxima de chuva do período.

4.1.1. Análise temporal

Agrupando os eventos e caracterizando-os de acordo com as estações do ano, algumas diferenças podem ser observadas entre cada estação (Tabela 14). O outono foi a estação do ano com maior acúmulo de chuva, apesar de significativa proporção de dias secos. Essa estação teve eventos de chuva não muito freqüentes, nem intensos, mas de grande duração, resultando em grandes alturas de chuva. A primavera, a segunda estação com maior altura de chuva, teve a menor proporção de dias secos, caracterizando-se por eventos freqüentes, mas pouco duradouros e de pequena intensidade. O verão somou menor altura de chuvas que o outono e a primavera, com eventos freqüentes, porém de pouco volume e média duração, e intensidade muito variada. O inverno foi a estação com menor altura de chuva e mais dias secos, caracterizada por eventos pouco freqüentes e pouco intensos, mas duradouros.

Tabela 14. Características dos eventos de chuva externa em cada estação do ano.

		Primavera	Verão	Outono	Inverno
Nº dias		97	90	88	93
Nº eventos		28	25	19	16
Proporção dias secos	(%)	44	54	59	67
Total chuva	(mm)	423	352	512	329
Volume médio	(mm)	15	14	27	20
dp^1 do volume	(mm)	17	14	36	20
Duração média	(h)	15	17	19	19
dp da duração	(h)	22	21	17	15
Intensidade média	(mm/h)	1,7	4,9	2,1	2,2
dp da intensidade	(mm/h)	2,1	10,9	3,1	3,1

¹ dp é desvio padrão

A análise de agrupamento realizada não confirmou esse comportamento sazonal. Realizou-se análise estatística de agrupamento a partir das variáveis: altura de chuva, número de eventos, intensidade máxima e número de dias secos, relativos a cada período de monitoramento. A Tabela 15 apresenta os grupos de períodos de monitoramento de chuva externa, resultantes de cada análise de agrupamento. Todas as análises resultaram em grupos que incluem períodos de monitoramento de várias estações do ano. Portanto, apesar de algumas diferenças entre os tipos de eventos em cada estação, não se observa comportamento sazonal estatisticamente significativa da chuva

externa, confirmando a característica climática da região, i.e., chuvas bem distribuídas ao longo do ano.

Tabela 15. Resultados da análise de agrupamento da chuva externa.

Grupos	Períodos
A	24
B	5, 7, 10, 13, 14, 26
C	4, 6, 17, 18, 21
D	9, 11, 12, 22
E	3, 8, 16, 19 20, 23, 25

4.1.2. Comparação entre coletores

Este estudo utiliza de dois tipos de instrumentos para monitoramento de chuva: um pluviógrafo e pluviômetros caseiros (ver seções 3.3 e 3.4). Para que este estudo seja válido, é necessário que as medidas de chuva obtidas com os pluviômetros caseiros e com o pluviógrafo sejam comparáveis. Para verificar essa hipótese, as leituras do pluviômetro (PLUV) instalado ao lado do pluviógrafo foram comparadas os registros do pluviógrafo para os mesmos períodos (Figura 26).

Com exceção de um período de monitoramento, as medidas do pluviômetro e do pluviógrafo são equivalentes (se aproximam da linha 1:1). A partir de 100 mm de chuva externa (acumulados em períodos de aproximadamente 15 dias) as medidas do pluviômetro tendem a ser inferiores que as do pluviógrafo. Como a maioria dos períodos monitorados não somou 100 mm de chuva (Figura 25), considera-se que essa tendência não prejudica as análises que se seguem. Portanto, é válido utilizar as alturas de chuva externa obtidas com pluviógrafo para comparar com alturas de chuva interna obtidas com pluviômetros caseiros.

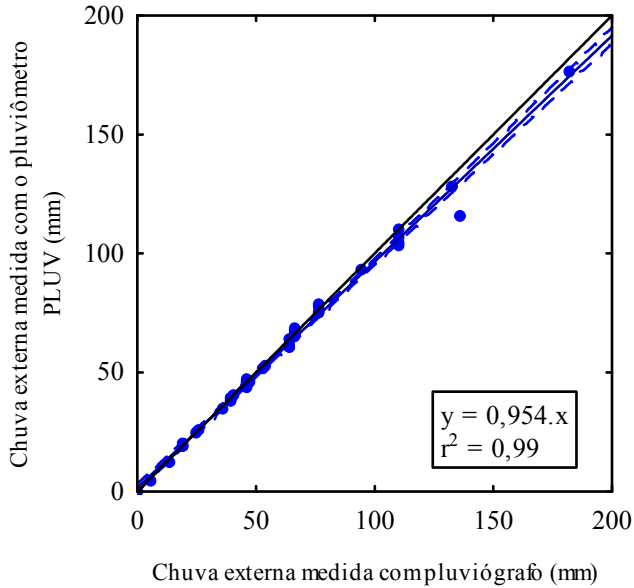


Figura 26. Chuva externa medida no pluviômetro caseiro em relação aos registros do pluviômetro. As linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança de 95%. A linha 1:1 está em preto, com traço contínuo.

4.1.3. Variabilidade espacial

Durante a realização dos trabalhos de campo, surgiu a dúvida se a chuva externa precipitada sobre a bacia seria homogênea. Então, em 13/09/2012, três pluviômetros adicionais (E1, E2 e E3) foram instalados na estrada que contorna a bacia experimental, para medir chuva externa. Assim, têm-se medidas de chuva externa nesses pluviômetros nos períodos de nº 20 a 26.

A pequena variabilidade dos dados de chuva externa obtidos dos pluviômetros caseiros pode ser verificada na Figura 27. Pode-se observar que os dados dos pluviômetros externos se aproximam da linha 1:1, com pequena variabilidade. Abaixo da linha, o ponto mais distante teve a leitura no pluviômetro 15% menor que a do pluviômetro; para cima, a maior diferença é de 7%. É nítida a diferença dos dois grupos de pluviômetros: externos e internos. A dispersão dos dados do primeiro grupo é significativamente menor que do segundo grupo. Ainda, a equação de regressão do segundo grupo se distancia da linha 1:1.

A partir dessas observações, pode-se considerar que a chuva que incide sobre a bacia experimental é significativamente mais homogênea que a chuva interna; portanto, a variabilidade observada na chuva interna pode ser atribuída à presença da vegetação. A comparação entre os desvios padrão das Tabela 16 e Tabela 17 comprova a pequena variabilidade entre os coletores de chuva externa, e a grande variabilidade entre os coletores de chuva interna.

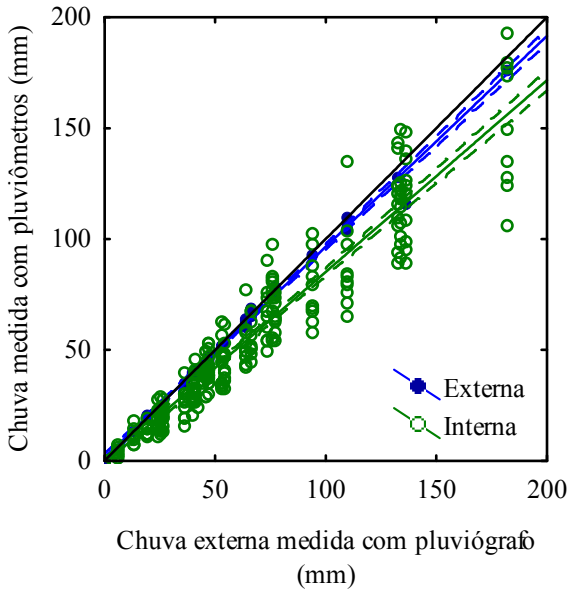


Figura 27. Alturas de chuva nos pluviômetros em relação aos registros do pluviômetro. A equação de regressão linear de cada grupo está representada por uma linha contínua, e os intervalos de confiança de 95% por linhas tracejadas. Em preto, a linha 1:1.

Tabela 16. Variabilidade entre os coletores de chuva externa, nos períodos de nº 20 a 26.

Período	Chuva externa no período (mm)						
	20	21	22	23	24	25	26
Duração	14 dias	12 dias	15 dias	12 dias	14 dias	16 dias	14 dias
E1	46,8	18,9	103,5	62,4	78,3	68,1	38,1
E2	46,3	18,9	110,0	63,6	78,0	68,9	39,4
E3	45,7	20,4	106,8	60,6	75,1	65,5	39,0
PLUV	44,6	19,6	105,0	61,3	75,3	66,2	38,7
Pluviógrafo	46,6	19,1	109,6	64,5	76,7	66,2	39,9
Média	46,0	19,4	107,0	62,5	76,7	67,0	39,0
dp^1	0,9	0,6	2,8	1,6	1,5	1,4	0,7
CV^2	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02

¹ dp é desvio padrão

² CV é coeficiente de variação (mm/mm)

Tabela 17. Variabilidade entre os coletores de chuva interna, nos períodos de nº 20 a 26.

Período	Chuva interna no período (mm)						
	20	21	22	23	24	25	26
Duração	14 dias	12 dias	15 dias	12 dias	14 dias	16 dias	14 dias
A1-2	34,9	12,0	103,6	52,7	63,1	51,5	26,7
A3	40,7	15,3	79,2	58,6	73,2	57,3	32,4
A4	42,8	11,0	83,9	47,6	63,9	62,5	34,8
B1-2	43,6	12,5	82,7	49,0	57,9	50,2	31,2
B3	38,4	12,7	71,1	43,8	65,3	47,8	27,8
B4	40,9	11,8	81,0	49,5	–	44,1	26,3
VERT	42,5	14,4	64,8	42,2	53,8	–	20,0
Z1-2	39,9	19,8	97,5	58,7	76,4	67,9	29,4
Z3	52,6	14,8	134,5	77,3	71,2	50,5	27,2
Z4	39,0	13,9	76,1	46,9	64,4	67,5	29,1
Média	41,5	13,8	87,4	52,6	65,5	55,5	28,5
dp^1	4,6	2,5	20,1	10,3	7,2	8,7	4,0
CV^2	0,11	0,18	0,23	0,20	0,11	0,16	0,14

¹ dp é desvio padrão

² CV é coeficiente de variação (mm/mm)

4.2. COBERTURA FLORESTAL

O monitoramento mensal da cobertura florestal foi iniciado em 19/01/2012. A cada mês, o índice de cobertura do dossel (ICD) foi estimado para cada um dos locais de monitoramento de chuva interna: A1-2, A3, A4, B1-2, B3, B4, Z1-2, Z3, Z4, VERT. Os ICD de cada local, em cada mês, são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18. Índices de cobertura do dossel

		Índice de cobertura do dossel (%)									
		A1-2	A3	A4	B1-2	B3	B4	Z1-2	Z3	Z4	VERT
	Jan	94	86	85	75	89	72	86	91	88	86
	Fev	92	87	91	88	90	75	89	90	84	84
	Mar	87	86	90	87	90	77	87	85	87	88
	Abr	87	87	91	88	90	76	90	89	86	87
	Mai	86	79	90	85	89	75	88	91	86	86
	Jun	86	85	88	83	89	72	83	90	86	81
	Jul	86	82	86	81	89	73	83	90	85	71
	Ago	83	79	85	83	92	63	79	87	80	74
	Set	72	77	86	84	85	54	83	86	83	73
	Out	74	81	85	79	85	62	86	88	79	76
	Nov	86	85	86	85	88	64	81	89	83	84
	Dez	91	89	90	92	89	67	77	91	89	89
Ver.	<i>me</i> ¹	91	86	89	88	90	75	87	89	86	86
	<i>CV</i> ²	0,03	0,01	0,03	0,01	0,01	0,04	0,02	0,03	0,02	0,02
Out.	<i>me</i>	86	83	90	85	89	74	87	90	86	84
	<i>CV</i>	0,01	0,05	0,01	0,04	0,01	0,03	0,05	0,01	0,00	0,04
Inv.	<i>me</i>	80	79	86	83	89	63	82	88	83	73
	<i>CV</i>	0,09	0,03	0,00	0,01	0,03	0,14	0,02	0,02	0,04	0,03
Pri.	<i>me</i>	84	85	87	86	87	64	81	89	84	83
	<i>CV</i>	0,11	0,05	0,03	0,08	0,02	0,05	0,06	0,02	0,06	0,08
	Mínimo	72	77	85	79	85	54	77	85	79	71
	Máximo	94	89	91	92	92	77	90	91	89	89
	Amplitude	22	12	6	13	7	23	13	6	10	18
	Mediana	86	85	87	85	89	72	85	89	85	84
	Média	85	84	88	85	89	69	84	89	85	82
	<i>dp</i> ³	6	4	2	4	2	7	4	2	3	6
	<i>CV</i>	0,07	0,05	0,02	0,04	0,02	0,10	0,05	0,02	0,04	0,07

¹ *me* é média

² *CV* é coeficiente de variação

³ *dp* é desvio padrão

O ICD de janeiro do ponto B1-2 está riscado na tabela, pois difere muito dos outros valores do mesmo local, inclusive dos meses mais próximos. Na fotografia que originou essa medida (Figura 28a), pode-se observar duas possíveis fontes de erro: (i) está com excesso de iluminação, mascarando a vegetação superior; (ii) está ligeiramente deslocada em relação ao posicionamento das demais fotografias (Figura 28b), enquadrando uma maior proporção de céu aberto que as demais. Esses erros na coleta da fotografia resultaram em um índice muito pequeno, que não pode ser comparado com os outros índices do mesmo local. Esta medida foi desconsiderada nas futuras análises.



Figura 28. Fotografias do dossel do ponto B1-2 (a) em 19/01/2012 e (b) em 15/02/2012.

A Figura 29 apresenta a distribuição dos ICD na bacia experimental. Nota-se que a maioria dos valores está na classe de ICD de 85% a 90%. A Figura 30 apresenta a distribuição desses índices por ponto de monitoramento.

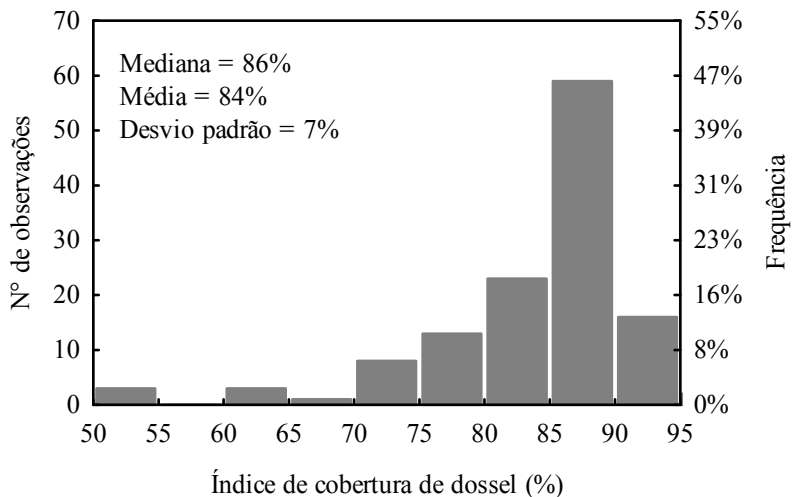


Figura 29. Distribuição dos índices de cobertura do dossel da bacia experimental.

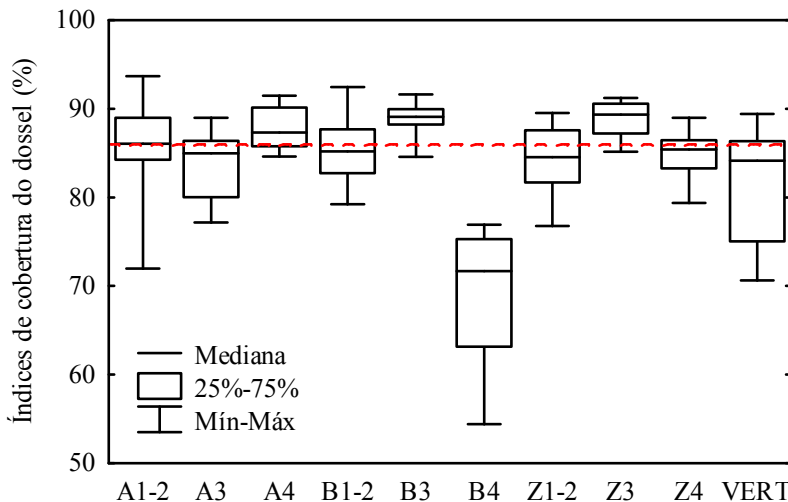


Figura 30. Distribuição dos índices de cobertura do dossel de cada ponto de monitoramento. A linha tracejada representa a mediana global.

4.2.1. Análise espacial

Em observação preliminar das fotografias brutas, antes de qualquer processamento digital, já é evidente que a copa da floresta não é homogênea entre os pontos de monitoramento. A consideração sobre a não-uniformidade das copas entre os pontos de monitoramento é reforçada pela Figura 30. Na Figura 30, o ponto B4 se destaca dos demais. Esse local de monitoramento está localizado numa região mais plana da bacia, próxima ao topo; nesse local, as árvores são mais esparsas, se assemelhando a uma clareira, e há pouca vegetação arbustiva. Difere dos outros pontos de monitoramento, localizados nas encostas da bacia, em locais de declividade acentuada, e muita vegetação arbustiva. Os ICD refletem essa condição, sendo significativamente inferiores neste ponto, em qualquer estação do ano.

No intuito de identificar semelhanças e diferenças no comportamento dos índices de cobertura do dossel (ICD), foi realizada análise de agrupamento (Figura 31). As análises indicam que o ponto de monitoramento B4 é diferente dos demais. Esse resultado confirma as observações a respeito da Figura 30, e está coerente com a realidade de campo.

A Figura 32 apresenta uma fotografia em cada ponto de monitoramento da cobertura florestal.

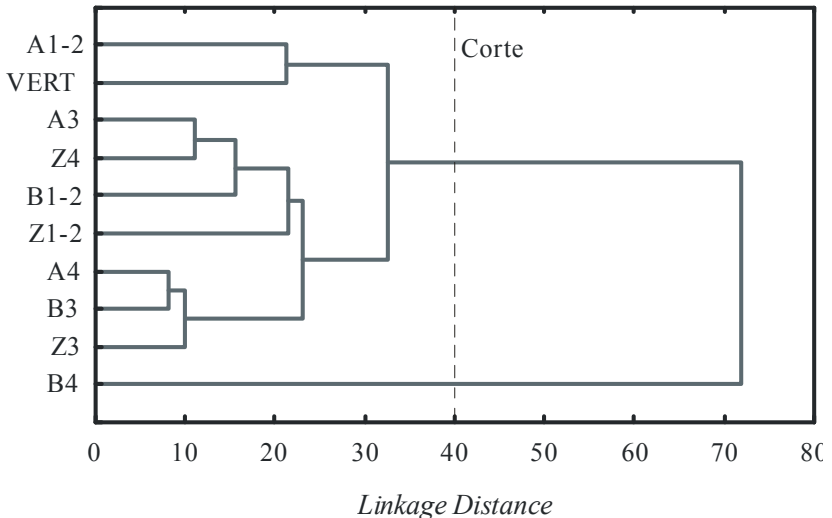


Figura 31. Dendrograma de agrupamento dos índices de cobertura de dossel.

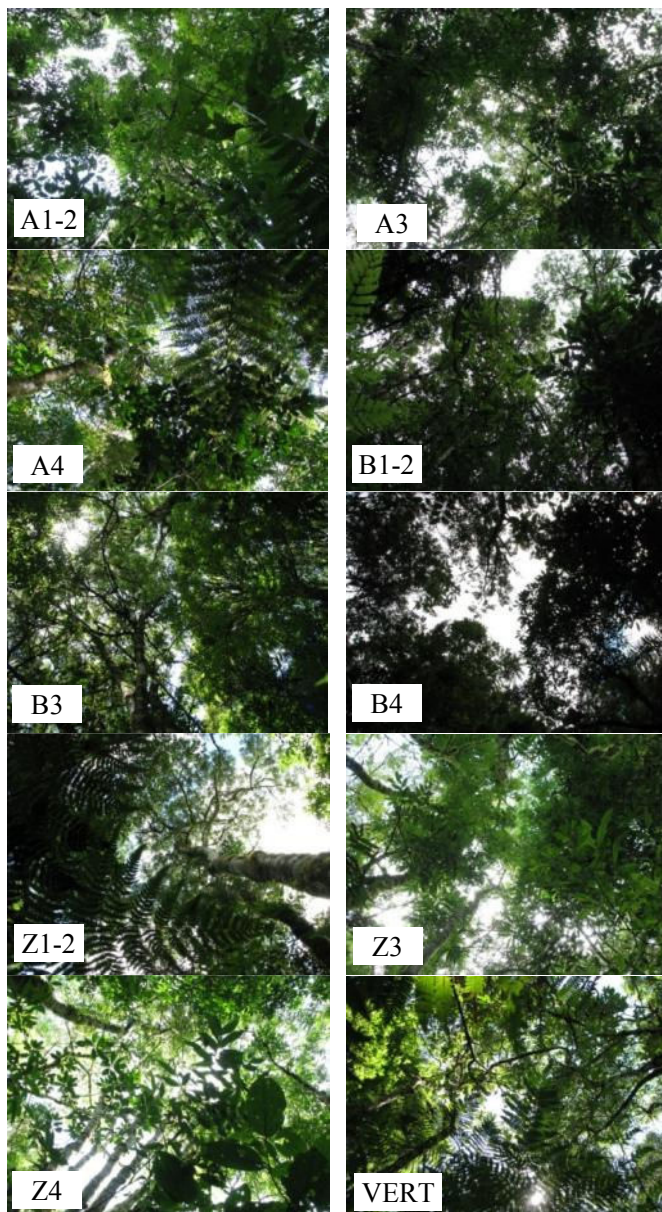


Figura 32. Fotografias capturadas em 15/02/2012.

4.2.2. Análise temporal

O índice de cobertura do dossel de cada ponto de monitoramento sofre uma variação ao longo do tempo (Figura 33).

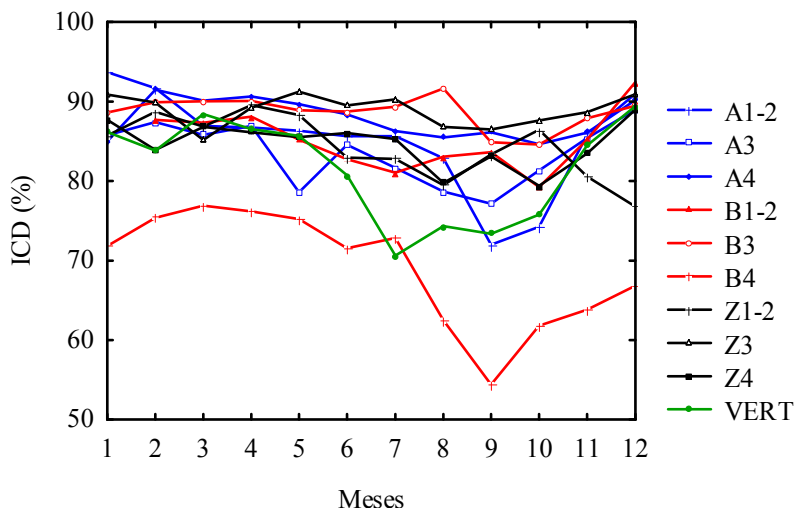


Figura 33. Variação do índice de cobertura do dossel de cada local de monitoramento, ao longo dos meses.

Para avaliar a variação dos ICD ao longo do ano, excluiu-se do conjunto de dados os valores correspondentes ao ponto B4, no cálculo das estatísticas descritivas. Este ponto de monitoramento é muito diferente dos outros pontos, conforme constatado na seção 4.2.1, e poderia mascarar os efeitos das estações. A Tabela 19 apresenta as estatísticas dos ICD em cada estação do ano, para o conjunto dos pontos de monitoramento (exceto o B4). Nos histogramas das estações (Figura 34), optou-se por incluir todos os pontos de monitoramento.

A partir dos dados da Tabela 19, pode-se notar uma oscilação sazonal na média e na mediana: a vegetação inicia o ano (verão) com a cobertura em seu valor máximo; no outono a cobertura começa a ficar mais esparsa; no inverno atinge o menor índice; e na primavera volta a se desenvolver. A Figura 35 ilustra a cobertura florestal ao longo das estações do ano. Entretanto, essa oscilação é inferior ao desvio padrão dos dados.

Para verificar se há diferença estatística entre as estações do ano quanto ao ICD, realizou-se análise de variância. A análise rejeitou a hipótese nula de que as populações de ICD de cada estação são iguais na média: o resultado do teste foi $F=5,24$ ($p=0,02$), maior que o F crítico (2,68; $p=0,05$).

Do histograma dos ICD a cada estação pode-se notar que no verão e no outono, os índices estão concentrados no intervalo de 80 a 90%. No inverno e na primavera, embora o intervalo de 80 a 90% seja o com maior frequência, os valores são mais dispersos: aumentam as ocorrências no intervalo 70-80% e ocorrem índices inferiores a 70% (Figura 34). Essa observação é confirmada pelos desvios padrões, menores nas duas primeiras estações, e maiores nas duas últimas. Essa maior variabilidade do ICD no inverno pode ser explicada pela presença na bacia experimental tanto de árvores que perdem suas folhas nessa época, quanto de árvores perenes. Entre as árvores identificadas na bacia, encontram-se espécies perenes (caixeta, canela-guaicá, canela Santa Rita, capororoca, erva-mate, jerivá, pessegueiro-bravo e xaxim), decíduas (cedro) e semi-decíduas (cajujo, camboatã, camboatã-vermelho e vassourão).

Os pontos de monitoramento, individualmente, não refletem o comportamento sazonal. Os pontos A1-2, A3, B1-2, B4, VERT e Z4 seguem o padrão descrito: o ICD tem sua média sazonal máxima no verão, decresce no outono e no inverno, e volta a ascender na primavera. Entretanto, os pontos A4, B3, Z1-2 e Z3 não seguem esse comportamento. Entre os últimos, dos pontos A4, B3 e Z3 pode-se considerar o ICD estável ao longo do ano, já que apresentam as menores variações e desvios padrão.

Tabela 19. Índices de cobertura do dossel por estação do ano (exceto ponto B4).

	Índice de cobertura do dossel (%)			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Mínimo	75,0	78,6	70,6	74,3
Máximo	93,7	91,2	91,6	92,5
Amplitude	18,7	12,6	21	18,2
Mediana	87,4	86,8	83,1	85,8
Média	87,4	86,8	82,4	85,2
dp^1	3,5	3,0	5,4	4,9
CV^2	0,04	0,03	0,07	0,06

¹ dp é desvio padrão

² CV é coeficiente de variação

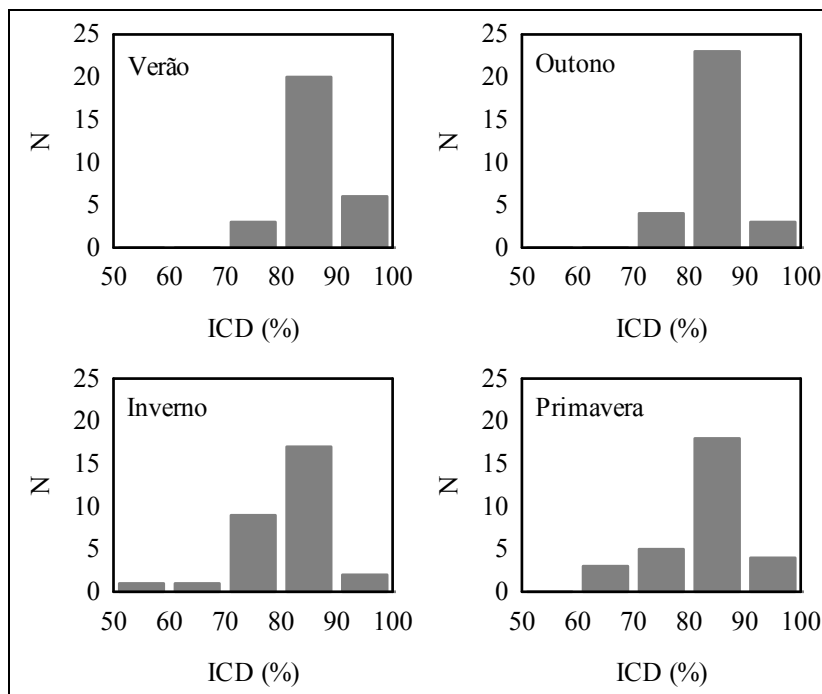


Figura 34. Histograma dos índices de cobertura do dossel de cada estação. N é número de ocorrências.

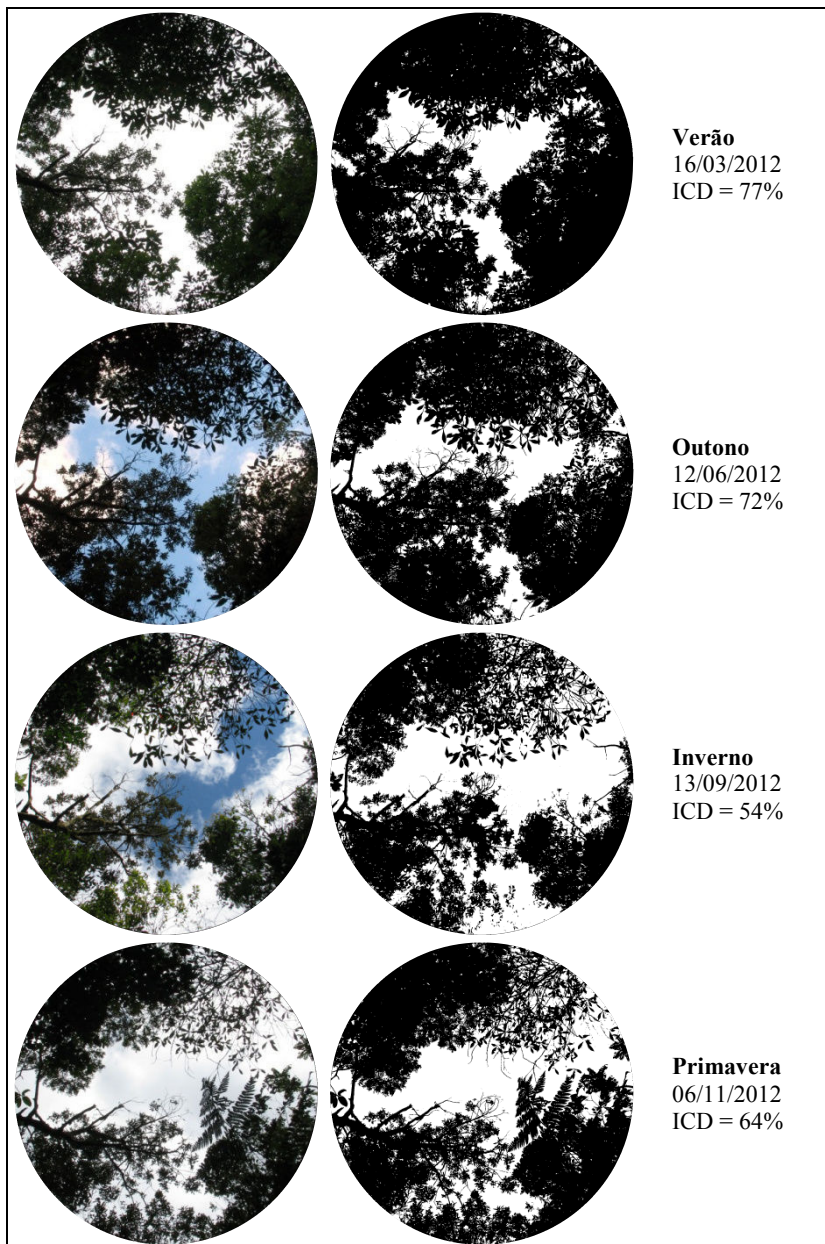


Figura 35. Variação sazonal do índice de cobertura do dossel (ICD) do ponto B4. Fotografias brutas (esq.) e classificadas (dir.).

4.3. CHUVA INTERNA

O monitoramento de chuva interna teve início em 17/12/2011, em dez pluviômetros instalados no interior da bacia experimental: A1-2, A3, A4, B1-2, B3, B4, VERT, Z1-2, Z3 e Z4. As medidas foram tomadas com frequência aproximadamente quinzenal, até 20/12/2012, nos 26 períodos consecutivos apresentados na seção 3.

A Tabela 20 apresenta os resultados das medições de chuva interna, expressos em porcentagem da chuva externa. Observa-se a ocorrência de chuva interna superior à chuva externa diversas vezes, especialmente no ponto Z1-2. No período de nº17 (03 a 15/08/2012) não houve registro de chuva no pluviógrafo. Então, esse período não foi considerado no estudo de chuva interna.

A distribuição das frequências das medidas de chuva interna, em porcentagem da chuva externa, se aproxima de uma gaussiana, com média e mediana iguais a 82,6% e 82,0%, respectivamente, e desvio padrão igual a 17,4% ($N = 243$ observações) (Figura 36).

A Figura 37 apresenta a distribuição dos registros de chuva interna (em percentual da chuva externa) de cada pluviômetro instalado no interior da bacia experimental. Nota-se que existem dois tipos significativos de variabilidade na chuva interna: (i) espacial, i.e., entre os diferentes pluviômetros; (ii) e temporal, i.e., entre diferentes medidas no mesmo pluviômetro.

Tabela 20. Percentuais de chuva interna em relação à chuva externa do período correspondente.

Período	Chuva interna / Chuva externa (%)									
	A1-2	A3	A4	B1-2	B3	B4	VERT	Z1-2	Z3	Z4
1	69	89	86	91	76	80	93	112	73	89
2	67	73	92	103	74	91	100	122	82	88
3	73	101	97	108	109	71	107	128	88	98
4	44	67	90	64	60	90	96	116		
5	45	67	72	76	53	85	82	111	76	53
6	49	74	81	82	77	53	80	131	104	87
7	47	74	59	88	56	81	76	119	98	82
8	49	81	84	91	60	77	77	107	89	90
9	71	107	94	83	87	68	80	109	94	91
10	64	92	67	91	65	66	62	119	107	85
11	75	109	73	88	62	66	71	105	94	84
12	68	95	70	97	58	74	82	106	99	
13	69	87	67	90	60	75	77	98	113	87
14	74	97	81	94	66	66	58	100	113	91
15	88	108	83	79	63	62	81	83	97	92
16	70	100	80	91	73	66	93	103	109	89
18	89	125	24	56	63		54	109		79
19	73	108	79	88	65	82	91	101	113	81
20	75	87	92	94	82	88	91	86	113	84
21	63	80	57	66	67	62	75	104	77	73
22	95	72	77	75	65	74	59	89	123	69
23	82	91	74	76	68	77	65	91	120	73
24	82	96	83	76	85		70	100	93	84
25	78	87	94	76	72	67		103	76	102
26	67	81	87	78	70	66	50	74	68	73
<i>N</i>	25	25	25	25	25	23	24	25	23	23
Mínimo	44	67	24	56	53	53	50	74	68	53
Máximo	95	125	97	108	109	91	107	131	123	102
Amplitude	51	58	73	52	56	38	57	57	55	49
Mediana	70	89	81	88	66	74	78	105	97	85
Média	69	90	78	84	69	73	78	105	96	84
dp^2	14	15	15	12	12	10	15	14	16	10
CV^3	0,20	0,17	0,19	0,14	0,17	0,14	0,19	0,13	0,17	0,12

¹ *N* é o número de observações

² *dp* é o desvio padrão

³ *CV* é o coeficiente de variação

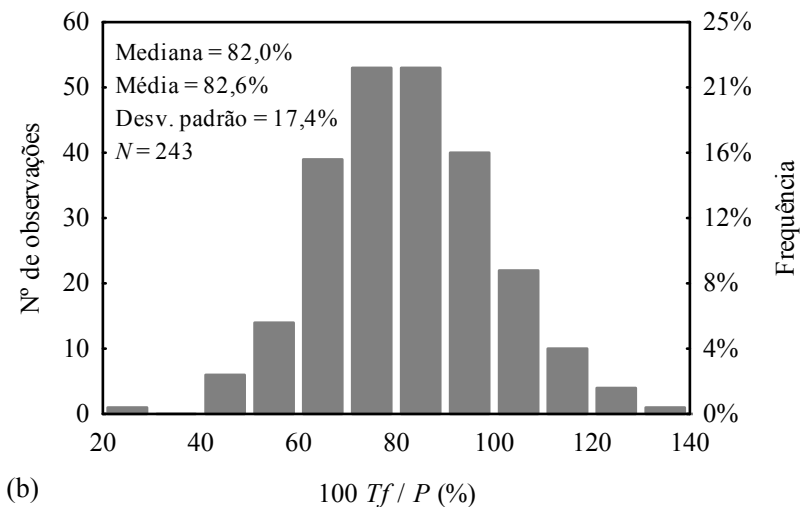
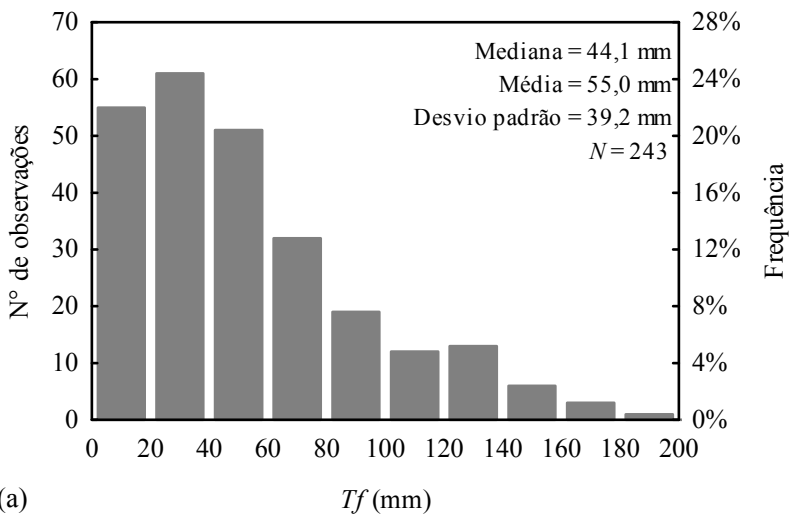


Figura 36. Histograma da chuva interna (T_f); (a) expressa em altura; (b) expressa em proporção da chuva externa (P).

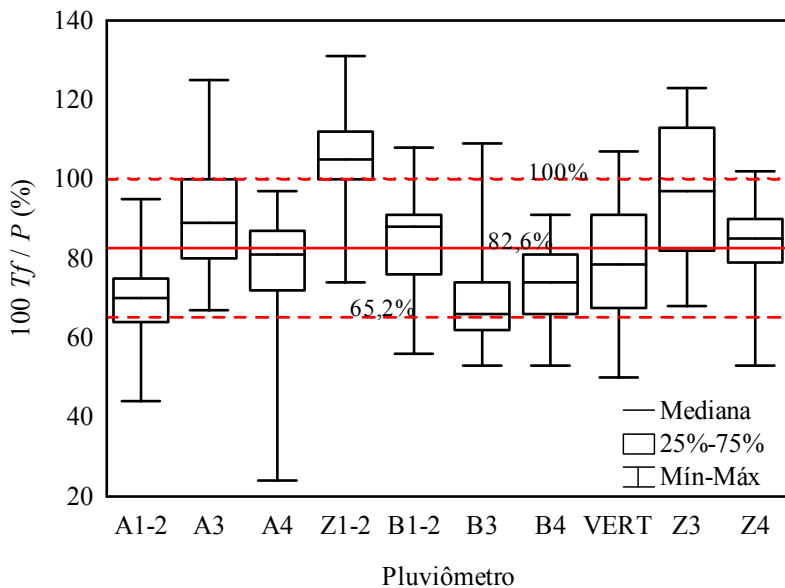


Figura 37. Distribuição dos resultados de chuva interna (T_f) em proporção à chuva externa (P). A linha contínua é a média global e as linhas tracejadas são a média global acrescida e subtraída do desvio padrão.

4.3.1. Análise temporal

A Tabela 21 e a Figura 38 apresentam as proporções de chuva interna em relação à chuva externa em cada período monitorado.

Tabela 21. Características dos períodos quanto aos percentuais de chuva interna.

Período	Chuva interna / Chuva externa (%)						
	Mínimo	Máximo	Amplitude	Mediana	Média	dp ¹	CV ²
1	69	112	43	88	86	12	0,14
2	67	122	55	90	89	16	0,18
3	71	128	57	100	98	17	0,17
4	44	116	72	79	78	23	0,29
5	45	111	66	74	72	19	0,26
6	49	131	82	81	82	23	0,28
7	47	119	72	79	78	21	0,27
8	49	107	58	83	81	16	0,20
9	68	109	41	89	88	14	0,16
10	62	119	57	76	82	20	0,24
11	62	109	47	80	83	16	0,19
12	58	106	48	82	83	17	0,20
13	60	113	53	82	82	16	0,20
14	58	113	55	86	84	18	0,21
15	62	108	46	83	84	14	0,17
16	66	109	43	90	87	15	0,17
18	24	125	101	71	75	33	0,44
19	65	113	48	85	88	15	0,17
20	75	113	38	88	89	10	0,11
21	57	104	47	70	72	13	0,18
22	59	123	64	75	80	18	0,23
23	65	120	55	77	82	16	0,20
24	70	100	30	84	85	10	0,12
25	67	103	36	78	84	13	0,15
26	50	87	37	72	71	10	0,14

¹ dp é o desvio padrão

² CV é o coeficiente de variação

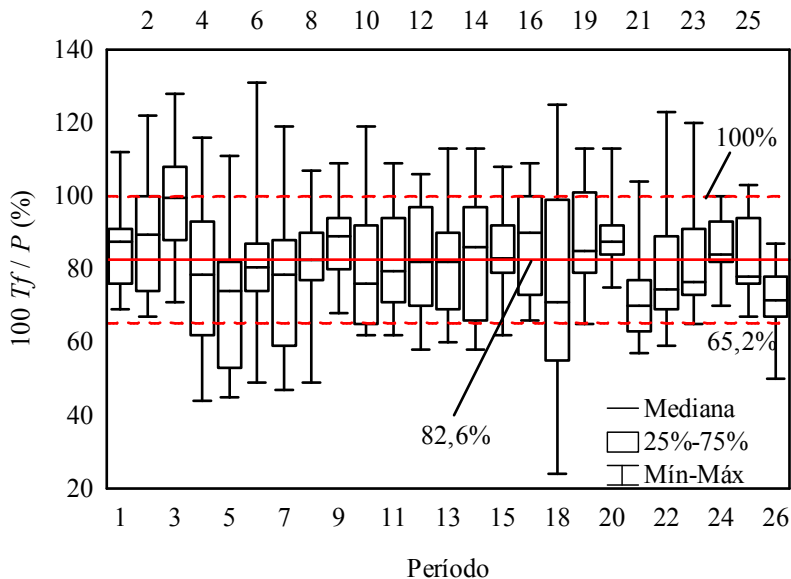


Figura 38. Distribuição dos resultados de chuva interna (T_f) em proporção à chuva externa (P) em cada período monitorado. A linha contínua é a média global e as linhas tracejadas são a média global acrescida e subtraída do desvio padrão.

Os percentuais de chuva interna variam ao longo do tempo. Foi realizada análise de variância para verificar se essa variação está relacionada às estações do ano. O teste não rejeitou a hipótese de igualdade das médias de chuva interna de acordo com as estações do ano. O resultado do teste foi $F=0,64$ ($p = 0,59$), para um F crítico de $2,64$ ($p = 0,05$).

A Figura 39 apresenta a distribuição desses valores para cada estação do ano. Em todas as estações do ano, a maioria das observações está concentrada na faixa entre a média subtraída do desvio padrão (65,2%) e a média acrescida do desvio padrão (100%). As médias são muito próximas entre as estações, sendo ligeiramente superior no verão e no outono, e inferior na primavera e no inverno. A principal diferença entre as estações é a amplitude da distribuição: mais concentrada no outono, e mais dispersa no inverno.

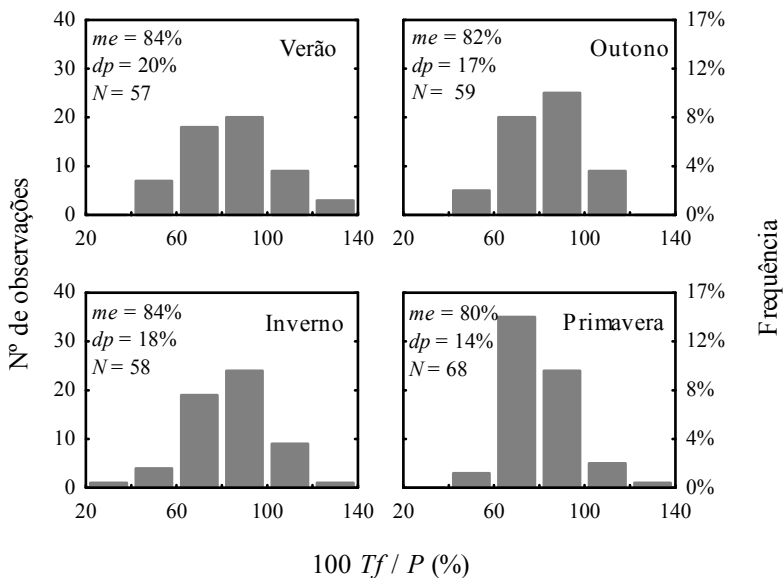


Figura 39. Distribuição dos percentuais de chuva interna por estação do ano. *me* é média; *dp* é desvio padrão; e *N* é número de observações.

4.3.2. Análise espacial

Na análise de agrupamento dos pontos de monitoramento quanto à chuva interna, o ponto Z1-2 se destaca dos demais (Figura 40). A Figura 37 ajuda a entender esse comportamento: o ponto Z1-2 concentra todas as suas medidas de chuva interna (exceto uma) acima da média de todos os pluviômetros, e a maioria delas acima da linha média+desvio padrão. Neste ponto, na maioria dos períodos medidos, a chuva interna foi superior à externa. As exceções são os períodos 13 (98%), 15 (83%), 20 (86%), 23 (91%) e 26 (74%), todos no inverno e na primavera, quando a copa estava em sua fase menos densa. Há um indício de que, no ponto Z1-2, a vegetação não atua somente como obstáculo para a água, mas também como redirecionadora do fluxo: na fase em que a vegetação estava mais densa, esse efeito concentrador era tão significativo, que resultava em um acúmulo de chuva maior sob a copa que sobre ela; quando a vegetação estava menos densa, esse efeito foi menor.

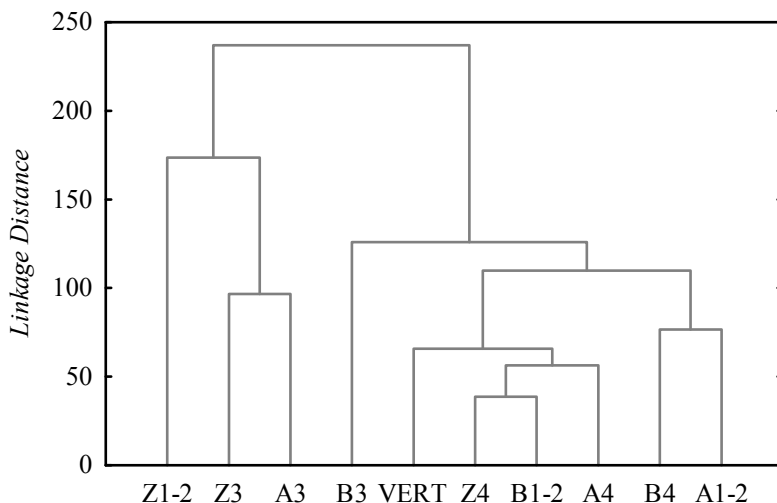


Figura 40. Agrupamento dos pontos de monitoramento quanto à chuva interna.

Os pontos A3 e Z3 também distanciam dos outros locais. Na Figura 37, fica clara a diferença desses pontos para os demais: a maioria das observações destes pontos se concentra acima da média, mas não acima da média+desvio padrão como o ponto Z1-2. Também são os únicos pontos além do Z1-2 em que a chuva interna supera a chuva externa em mais do que dois períodos: em 7 e 9 dos 26 períodos, nos pontos A3 e Z3, respectivamente. Entre os 7 períodos em que a chuva interna em A3 superou a chuva externa, apenas um coincide com os períodos em que o fato aconteceu em Z3. Essa informação sugere que o redirecionamento da água da chuva está mais relacionado às características da vegetação (e sua mudança ao longo do tempo) do que às características dos eventos de chuva.

Outro ponto que se sobressai nas análises de agrupamento é o B3. O que pode diferenciar o ponto B3 dos demais é a sua assimetria na distribuição dos percentuais de chuva interna: é o ponto com menores mediana e média, e com o intervalo 25-75% completamente abaixo da média global, mas tem duas ocorrências superiores a 100%, que prolongam a cauda da distribuição até o 121%.

Os outros pontos de monitoramento - A4, B4, VERT, A1-2, B1-2 e Z4 - representam o comportamento majoritário entre os pontos. Sobre

esse agrupamento predominante, algumas considerações podem ser feitas:

(a) Os pontos A1-2, A4, B4 e VERT têm a maioria das suas ocorrências dentro da faixa média \pm desvio padrão, com mediana abaixo da média global, e assimetria negativa, i.e., a cauda se estende em direção aos menores percentuais de chuva interna; entre esses pontos, só há uma ocorrência de chuva interna superior à externa (a chuva interna em VERT chegou a 107% da chuva externa no período 3).

(b) Os pontos B1-2 e Z4, assim como os A4, B4 e VERT, têm assimetria negativa e concentram a maioria de suas ocorrências dentro da faixa média \pm desvio padrão, mas se diferenciam por ter a mediana acima da média global.

Sobre a ocorrência de registros pontuais de chuva interna superior à chuva externa, Coelho Netto et al. (1986) observaram o fenômeno em seu estudo, e sugeriram dois possíveis responsáveis: (i) o tamanho das gotas, maior sob as copas que na chuva externa; e (ii) gotejamento a partir de galhos da copa. Loescher et al. (2002) comentaram que, em coletores individuais, o volume de chuva interna pode ultrapassar o da chuva externa devido o efeito de afunilamento da copa. Na bacia experimental do rio Araponga, observa-se a presença frequente de organismos como fungos, cipós e epífitas fixados nas árvores (Figura 41). Esses organismos podem causar obstruções ao fluxo de água pelos galhos e troncos, e gerar pontos de gotejamento. Sob esses pontos, a chuva interna pode ser superior à chuva que incide sobre a vegetação, originando valores negativos de perdas por interceptação.



Figura 41. Exemplos de obstrução do fluxo do escoamento de tronco.

4.3.1. Relação com a chuva externa

A chuva interna, em valores absolutos, está linearmente relacionada com a chuva externa: quanto maior a chuva externa, maior a chuva interna. A amplitude e a variância da chuva interna também são maiores quanto maior a chuva externa. Entretanto, o coeficiente de variação da chuva interna decresce com o aumento da chuva externa (Figura 42).

A Figura 42a se assemelha às distribuições de valores diários de Tf por P apresentadas por Lleyton et al. (1967) e Rutter et al. (1971) (Figura 43). Lleyton et al. (1967) consideram que antes de atingir a saturação da copa, i.e., para pequenos valores de P , Tf é proporcional a P e essa proporção é governada pela cobertura da copa. Após a saturação da copa, i.e., para grandes valores de P , as diversas Tf para uma mesma P refletem a variabilidade das condições de evaporação devido ao número de ciclos de molhamento e secagem da copa. Ou seja: para um mesmo volume diário de chuva, os valores menores de Tf ocorrem quando a chuva se dá em múltiplos eventos, intercalados por intervalos sem chuva (e com maior evaporação); valores maiores de Tf correspondem a um único evento de chuva. Portanto, as maiores frações Tf/P representam as condições mínimas de evaporação (Lleyton et al.,

1967). A hipótese de Lleyton et al. (1967) foi erguida sobre dados diários de chuva e chuva interna, e é válida para condições de cobertura da copa constantes entre as medidas.

Para a interpretação da Figura 42a, a hipótese de Lleyton et al. (1967) não pode ser utilizada a rigor: os diferentes valores de Tf para cada P resultam da heterogeneidade espacial da vegetação, e não do número de ciclos de molhamento e secagem, já que correspondem a valores simultâneos de Tf para diferentes locais de monitoramento.

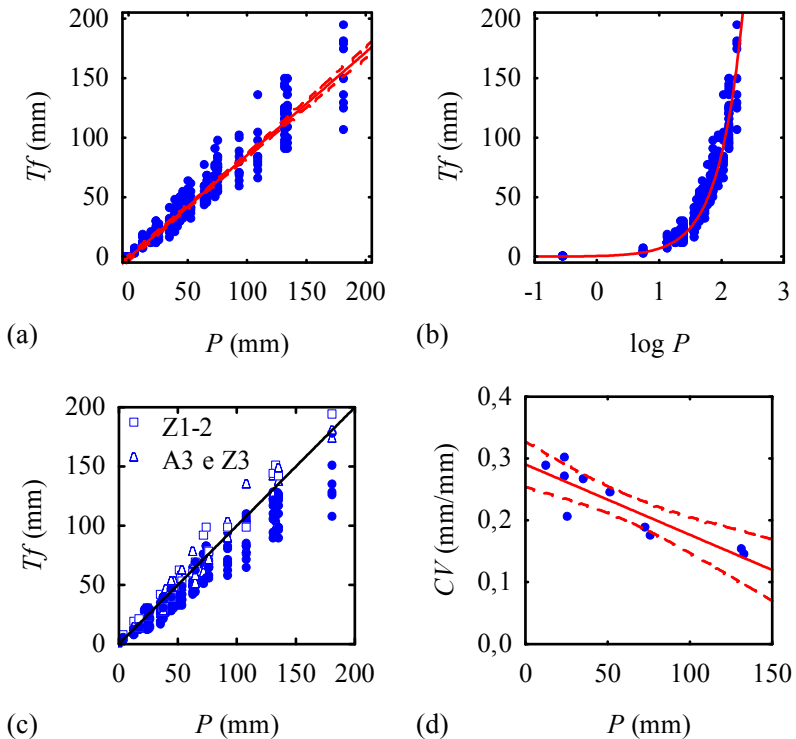
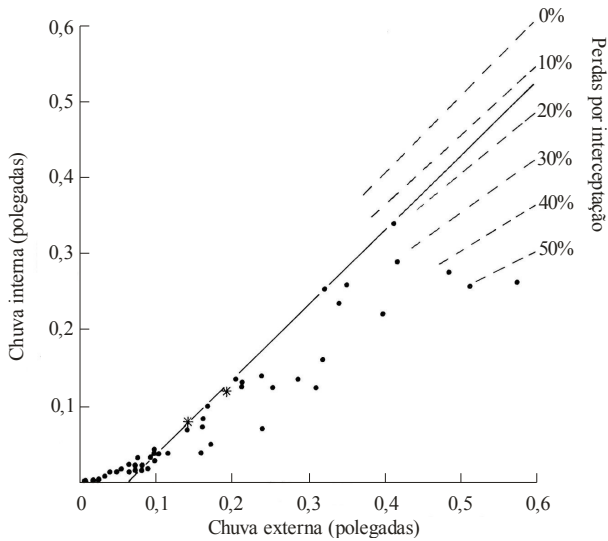
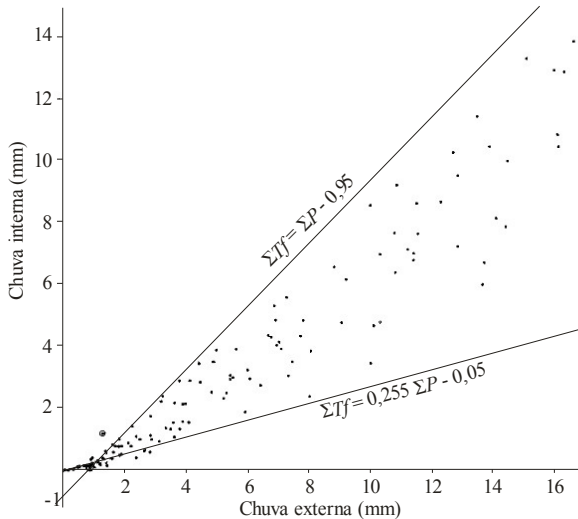


Figura 42. Relação entre as alturas de chuva interna (Tf) e externa (P): (a) em escala linear; (b) em escala semi-log; (c) com os pontos Z1-2 e A3-Z3 em destaque, e com a reta 1:1; (d) coeficiente de variação (CV) da chuva interna em relação à chuva externa.



(a)



(b)

Figura 43. Gráficos de valores diários de Tf versus P : (a) em polegadas, em *Picea* sp. (adaptado de LLEYTON et al., 1967); (b) em pinus (adaptado de RUTTER et al., 1971).

Se os dados de Tf e P de cada ponto de medição são comparados separadamente, ainda tem-se dispersões semelhantes às de Lleyton et al. (1967) e Rutter et al. (1971), entretanto com menor dispersão devido ao menor número de pontos (Figura 44). De cada uma das dispersões apresentadas na Figura 44 pode-se estimar uma capacidade de armazenamento da copa (S) conforme o método gráfico de Lleyton et al. (1967), mencionado na seção 2.4. Esse método diz que a capacidade de armazenamento da copa é igual ao intercepto no eixo x ($Tf = 0$) da envoltória superior da dispersão $Tf \times P$. O significado físico do método é que na situação de evaporação mínima (envoltória superior da dispersão), os primeiros milímetros de chuva externa são armazenados na copa, e a chuva interna é nula. Quando a chuva externa supera a capacidade de armazenamento, a chuva interna inicia. Rutter et al. (1971) adaptaram o método de Lleyton et al. (1967), e substituíram o intercepto no eixo x pelo oposto do intercepto no eixo y ($P = 0$) para estimar S . Dessa maneira, a equação da envoltória já explicita o S . Numericamente os dois métodos são equivalentes, já que a inclinação das envoltórias é aproximadamente 1.

A Tabela 22 apresenta o S estimado para cada local de medição. A Figura 44 apresenta a dispersão $Tf \times P$ para cada ponto de monitoramento, bem como a envoltória superior utilizada para estimar a capacidade de armazenamento da copa. Na figura, os pontos utilizados para traçar a envoltória estão em destaque; os pontos representados por um sinal “+” representam medidas com Tf superior à P e foram desconsiderados. É válido notar que, assim como Lleyton et al. (1967) comentam, a inclinação de todas as envoltória se aproxima de 1. Para o local Z1-2 não foi possível estimar o S devido à pequena quantidade de medidas em que a Tf não superou a P .

Tabela 22. Capacidade de armazenamento da copa para cada local de medição

Local	A1-2	A3	A4	B1-2	B3	B4	VERT	Z3	Z4
S^1 (mm)	9,9	3,3	2,2	0,5	6,8	1,4	1,8	4,3	0,2

¹ S é capacidade de armazenamento da copa

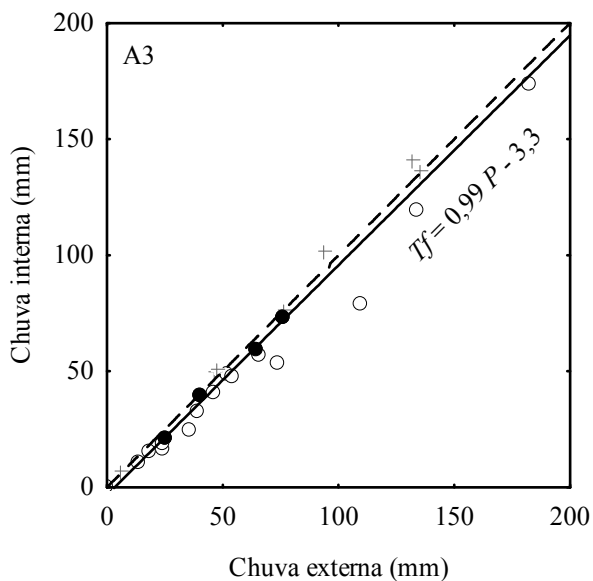
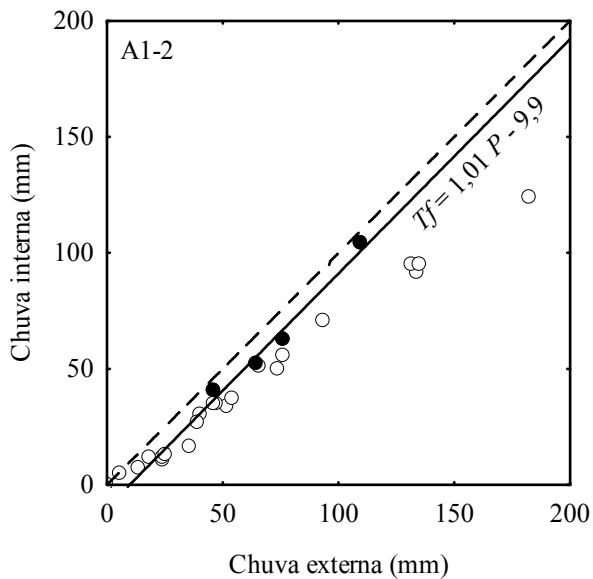


Figura 44. Estimativa do armazenamento da copa nos pontos de monitoramento: (a) A1-2; (b) A3; (c) A4; (d) B1-2; (e) B3; (f) B4; (g) VERT; (h) Z1-2; (i) Z3; e (j) Z4. (continua)

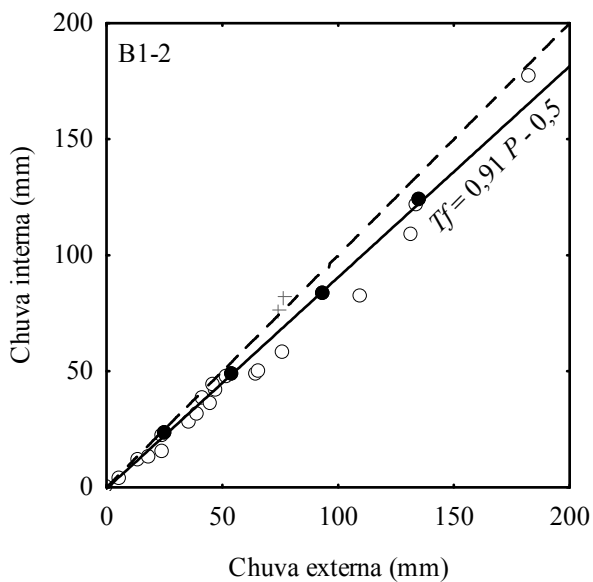
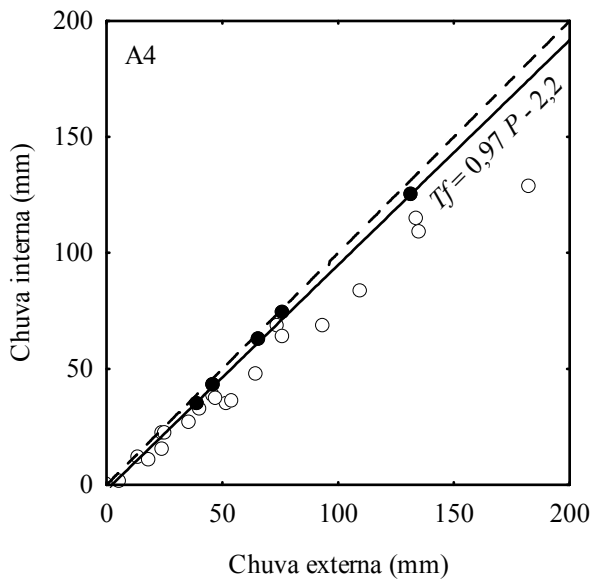
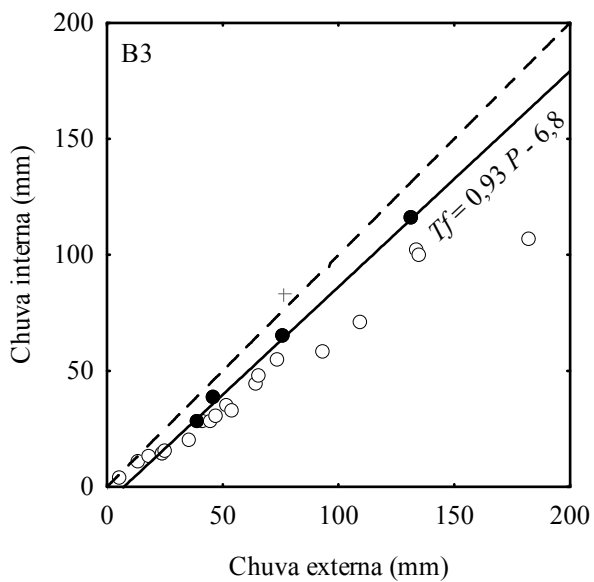
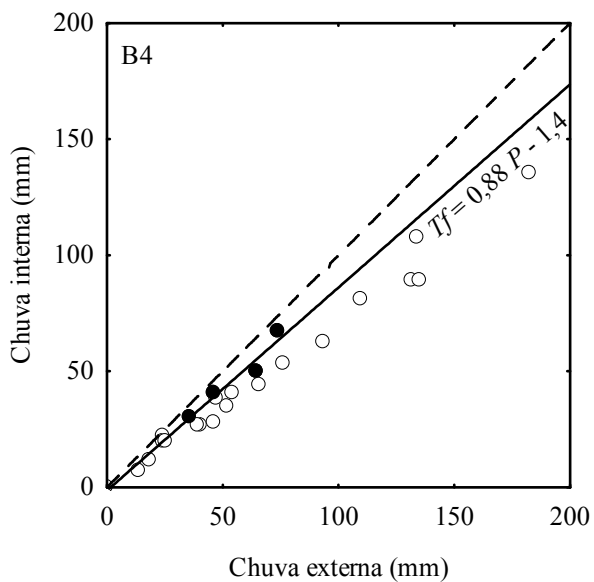


Figura 44 (continuação)

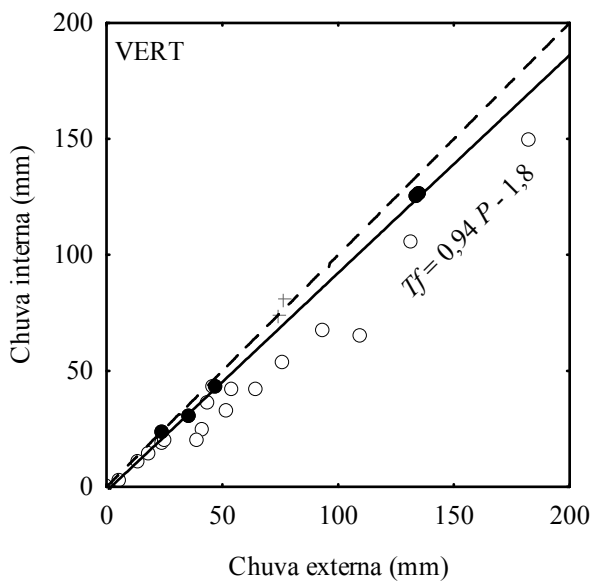


(e)

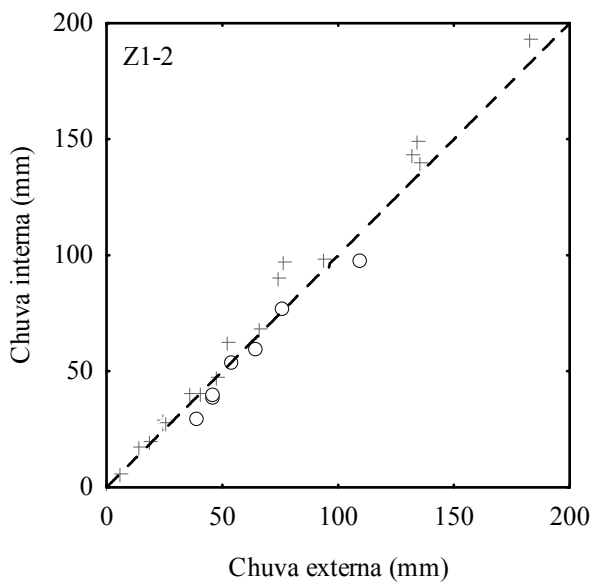


(f)

Figura 44 (continuação)



(g)



(h)

Figura 44 (continuação)

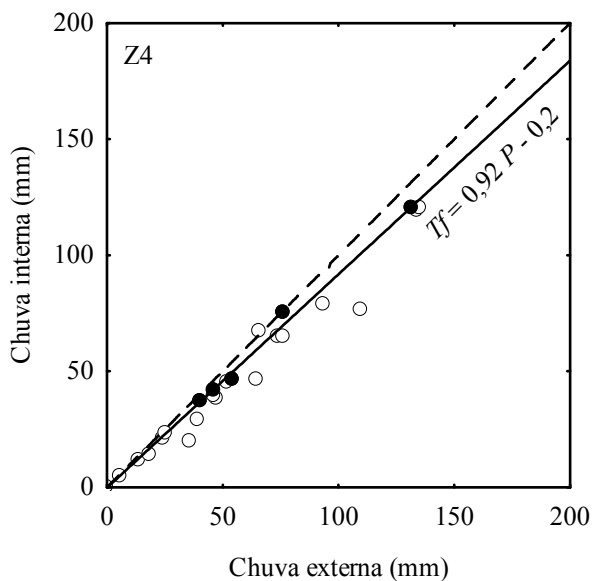
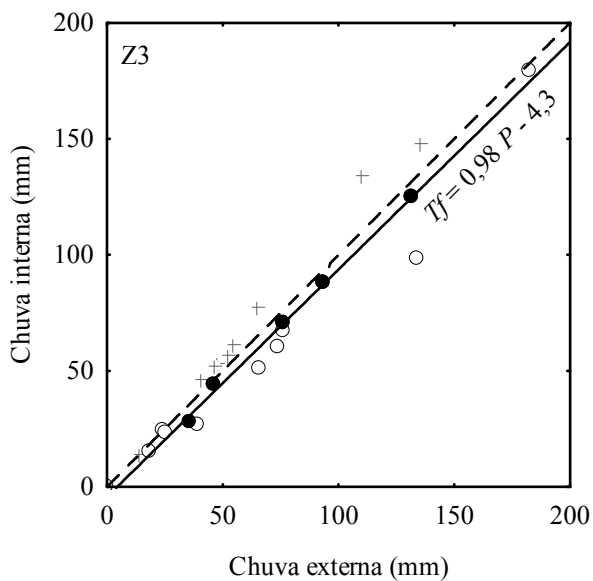


Figura 44 (conclusão). Os pontos utilizados para traçar a envoltória estão em destaque; os pontos indicados com uma cruz são medidas de chuva interna (T_f) superior à externa (P) e foram desconsiderados.

A proporção da chuva externa convertida em chuva interna não se relaciona linearmente com a chuva externa (Figura 45). Os valores estão dispersos em torno da média (82,6%). Quanto maior a chuva externa, menos dispersos são os percentuais de chuva interna. No período 18, em que a chuva externa acumulada foi de 5,5 mm (Tabela 13, seção 4.1), a chuva interna variou de 24% até 125%. Com o aumento da chuva externa, a variabilidade da proporção de chuva interna diminui, e nos períodos com chuva externa maior que 120 mm, os percentuais de chuva interna ficaram na faixa de 60 a 110%.

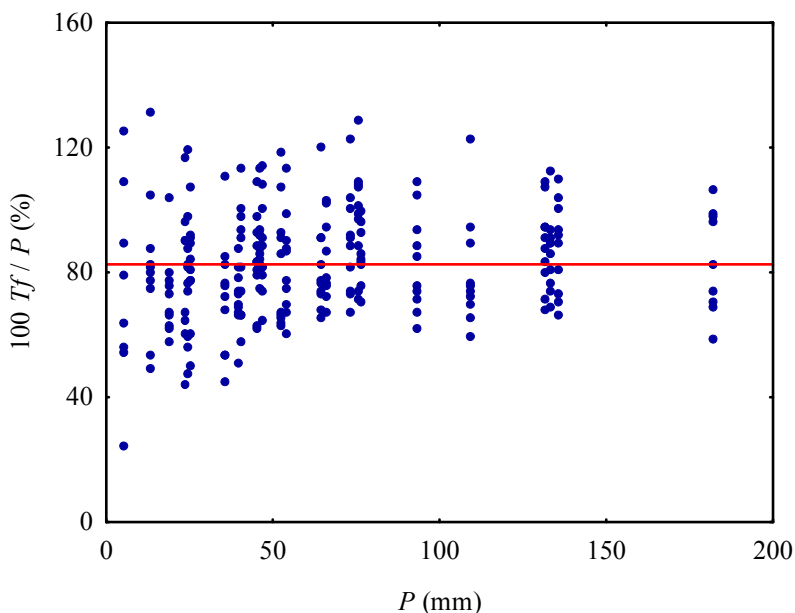


Figura 45. Relação entre a proporção de chuva interna (T_f) e chuva externa (P).

4.3.2. Relação com a cobertura florestal

Para tentar explicar a variabilidade da chuva interna entre os pontos de monitoramento, realizaram-se comparações entre os percentuais de chuva interna e os índices de cobertura do dossel (ICD). Entretanto, essas duas variáveis não apresentam nenhuma correlação linear quando os dados são considerados em sua totalidade ($R = 0,07$) (Figura 46). Quando separados por estação do ano, o R varia de 0,04 a

0,16 (Figura 47). Se a comparação for realizada separadamente para cada local de monitoramento, apenas os pontos de monitoramento A3 e Z1-2 apresentaram correlação linear significativa, embora moderada ($R = 0,5$) (Tabela 23, Figura 48).

Também foram testadas as correlações não-paramétricas Spearman, Kendall Tau e Gamma entre os percentuais de chuva interna e os índices de cobertura do dossel duas variáveis, mas não houve nenhum resultado significativo a $p < 0,05$.

Também se investigou a existência de relação entre a capacidade de armazenamento da copa e o ICD. Esses parâmetros não apresentaram nenhum tipo de correlação estatística entre si.

Esses resultados indicam que o ICD não é um índice adequado para representar a copa da bacia experimental do rio Araponga (ARA). Essa inadequação pode ser explicada pela sobreposição de copas: os croquis das parcelas (Figura 11 e Figura 12, seção 3.2) mostram que as parcelas são completamente cobertas por copas de diferentes árvores, que se sobrepõem em diversas camadas ao longo do perfil vertical da parcela. Em uma vegetação com essas características, representar a copa com o ICD tem pelo menos duas implicações. Uma delas, é que camadas sobrepostas não são completamente registradas na fotografia: elementos (folhas e galhos) de copas sobrepostas só são representados no índice se não estiverem alinhados; caso contrário, o elemento mais próximo à câmera faz “sombra” e oculta o elemento mais distante. Outra implicação é o peso diferente no índice de elementos situados em camadas diferentes da vegetação: quanto mais próximo o elemento, maior ele aparece na fotografia.

O percentual de cobertura da copa é um parâmetro comum em modelos de interceptação, conforme discutido na seção 2.4. Para entrada nos modelos, muitas vezes esse parâmetro é considerado igual ao coeficiente angular da reta da regressão linear dos dados de Tf e P . Há estudos que propõem a utilização do índice de cobertura do dossel obtido com fotografias em substituição a esse coeficiente. Essa alternativa se mostra bastante atraente, já que a obtenção do índice a partir de fotografias é menos onerosa do que coletar dados de chuva e chuva interna durante tempo suficiente para a construção de uma boa equação de regressão linear. Entretanto, os resultados aqui apresentados invalidam a utilização desse procedimento em Floresta Ombrófila Mista. Ainda, esse procedimento deve ser avaliado em outros tipos de vegetação e clima antes de ser amplamente empregado.

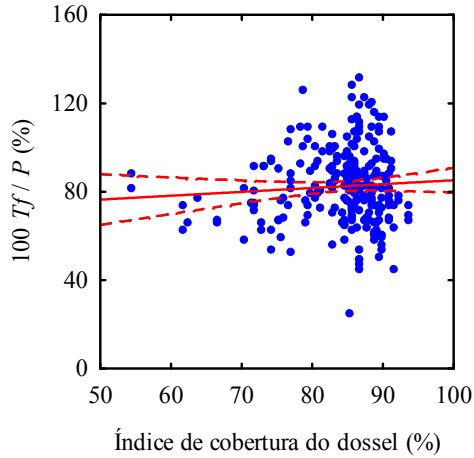


Figura 46. Relação entre índice de cobertura do dossel e chuva interna (T_f). A linha contínua é a regressão linear, e a linha tracejada é o intervalo de confiança 0,95.

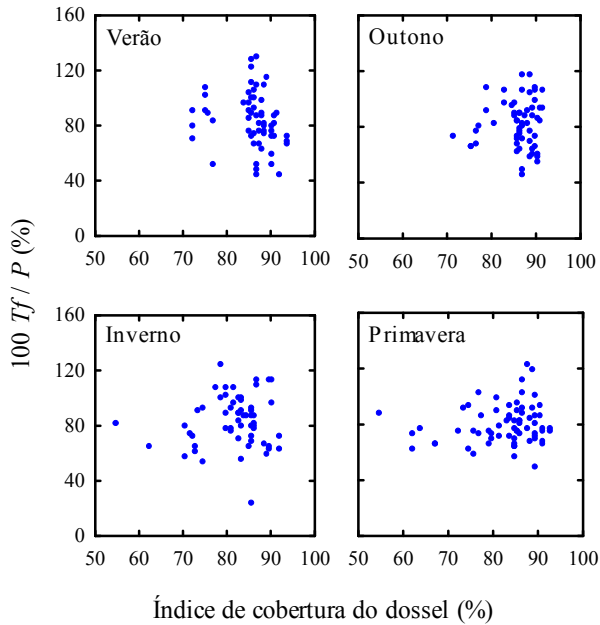


Figura 47. Relação entre chuva interna (T_f) e índice de cobertura do dossel, por estação do ano.

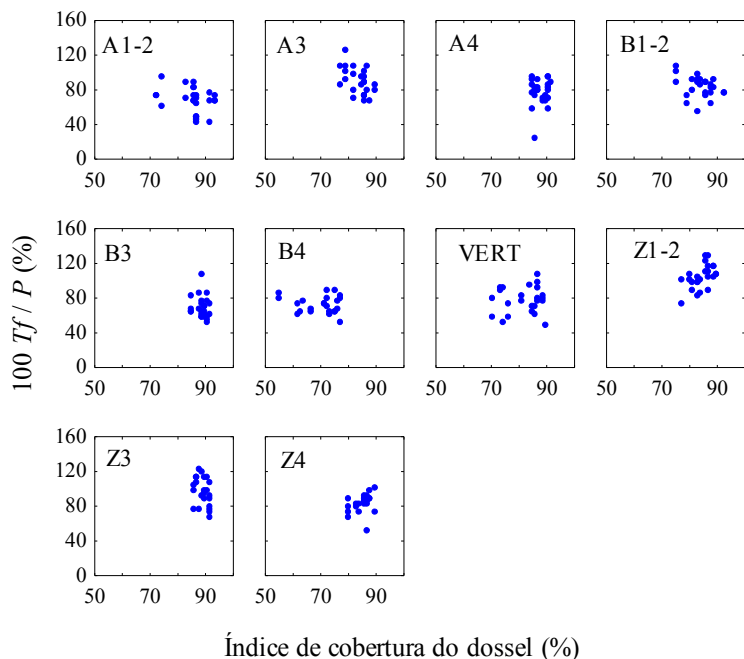


Figura 48. Relação entre chuva interna (T_f) e índice de cobertura do dossel, por local de monitoramento.

Tabela 23. Resultados das regressões lineares entre índice de cobertura do dossel e chuva interna.

Local	R^1	$GL1^2$	$GL2$	F^3	p^4
A1-2	0,30	1	23	2,26	0,15
A3	0,50	1	23	7,76	0,01
A4	0,13	1	23	0,40	0,53
B1-2	0,04	1	20	0,04	0,84
B3	0,11	1	23	0,26	0,61
B4	0,13	1	21	0,40	0,54
VERT	0,08	1	22	0,14	0,71
Z1-2	0,54	1	23	9,35	0,01
Z3	0,30	1	21	2,00	0,17
Z4	0,33	1	21	2,61	0,12

¹ R é o coeficiente de correlação de Pearson; ² GL é o número de graus de liberdade; ³ F é o fator-F da distribuição de Fisher; ⁴ p é o valor-p do teste de hipótese.

4.4. ESCOAMENTO DE TRONCO

O escoamento de tronco, diferentemente da chuva interna, é medido individualmente em cada árvore. Daí resulta que as medidas de escoamento de tronco são mais heterogêneas que as de chuva interna, porque as diferenças entre cada árvore são uma fonte extra de variabilidade. Então, para entender adequadamente os resultados do monitoramento do escoamento de tronco, primeiramente é preciso conhecer as diferenças desse processo em cada árvore. A Tabela 24, a Figura 49 e a Figura 50 apresentam os resultados de escoamento de tronco de cada árvore. Devido à grande variabilidade dos dados de escoamento de tronco quando expressos em milímetros, foi preciso usar escala logarítmica para observar adequadamente a distribuição dos dados.

Tabela 24. Resumo da geração de escoamento de tronco por árvore.

Tronco	N^2	Sf^1 (L)					Sf (mm)				
		Mín.	Máx.	md^3	me^4	CV^5	Mín.	Máx.	md	me	CV
T1	3	5,6	8,4	5,9	6,6	0,24	0,09	0,13	0,09	0,10	0,20
T2	5	1,5	8,5	4,8	5,0	0,54	0,04	0,23	0,13	0,14	0,50
T7	5	0,2	2,0	1,1	1,0	0,60	0,21	1,69	0,95	0,90	0,61
T21	4	1,1	4,1	2,6	2,6	0,46	0,06	0,23	0,14	0,14	0,50
T28	5	2,5	10,1	10,0	7,4	0,50	0,06	0,23	0,23	0,17	0,47
T50	5	0,1	0,8	0,6	0,6	0,50	0,00	0,02	0,02	0,02	0,50
T57	5	0,3	2,1	2,0	1,5	0,53	0,66	5,08	4,66	3,51	0,55
T59	5	0,8	7,4	5,4	4,4	0,68	0,02	0,18	0,13	0,11	0,64
T65	4	0,8	3,1	1,5	1,7	0,59	0,04	0,18	0,09	0,10	0,60
T69	4	1,2	4,3	3,2	3,0	0,47	0,14	0,49	0,36	0,34	0,47
Todas	45	0,1	10,1	2,1	3,3	0,88	0,00	5,08	0,14	0,60	2,05

¹ Sf é o escoamento de tronco; ² N é o número de observações; ³ md é a mediana;

⁴ me é a média; ⁵ CV é o coeficiente de variação.

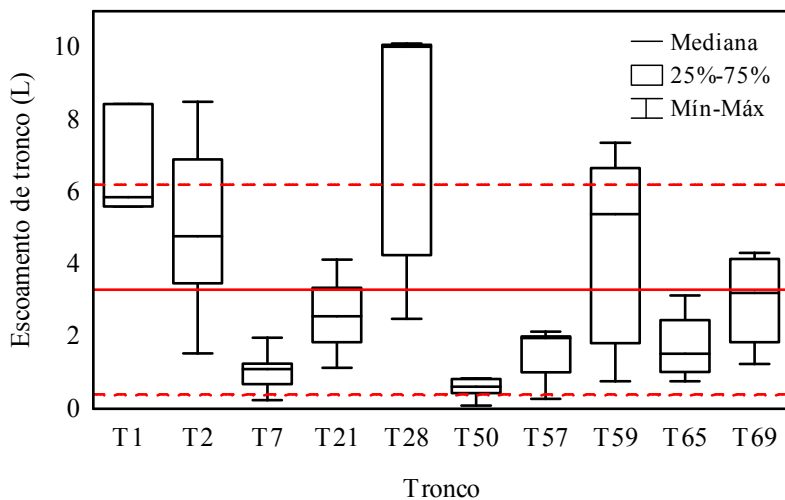


Figura 49. Distribuição dos volumes de escoamento de tronco por árvore. A linha contínua é a média global, e as linhas tracejadas são a média global \pm o desvio padrão.

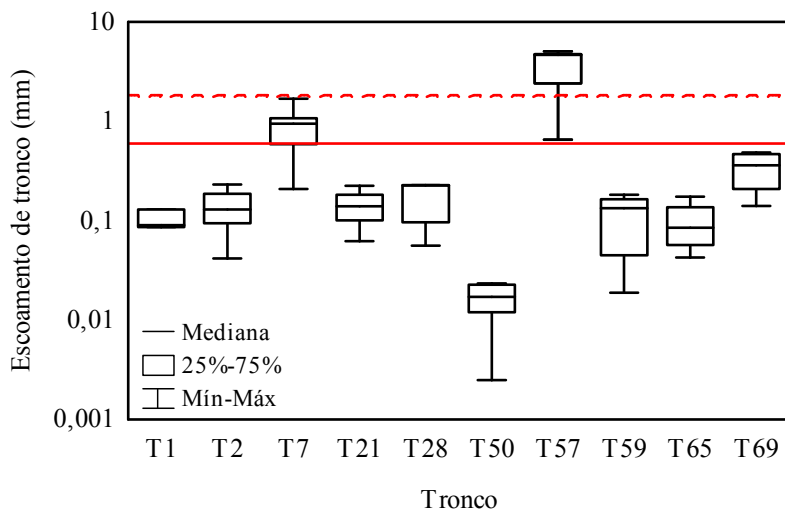


Figura 50. Distribuição do escoamento de tronco (mm) por árvore. A linha contínua é a média global, e a linha tracejada é a média global + o desvio padrão.

4.4.1. Nas árvores

Em termos de volume de escoamento de tronco, o tronco T28 se destaca com os maiores valores, seguida pelos troncos T1, T2 e T59. No outro extremo, o tronco T50 gerou os menores volumes de escoamento, seguido pelos troncos T7, T57, T65, T21 e T69, todos com volumes de escoamento de tronco abaixo da média.

Em termos de altura de chuva equivalente, o tronco T57 se destaca com a maior média de alturas de escoamento de tronco, uma ordem de grandeza maior que as demais. Os troncos T1, T2, T21, T28, T59, T65 geraram alturas de escoamento de tronco com médias semelhantes entre si e também com a média de todos os troncos juntos. O tronco T50 se destaca pelo escoamento de tronco (mm) muito pequeno, duas ordens de grandeza menor que o tronco T57, e uma ordem de grandeza menor que as outras.

Se compararmos as estatísticas dos volumes de escoamento de tronco, com as de alturas equivalentes, é notável que algumas árvores produzem grandes volumes, mas pequenas alturas de escoamento de tronco, e vice-versa. Essa inversão é resultado da variação dos tamanhos da copa entre as árvores: grandes copas resultam em pequeno escoamento de tronco (mm), e copas pequenas resultam em grande escoamento de tronco (mm). Os pequenos volumes escoados pelo tronco T7, por exemplo, quando divididos pela pequena área da copa resultam em grandes alturas de escoamento de tronco. Com o tronco T1 ocorre exatamente o oposto: os grandes volumes escoados por ela resultam em pequenas alturas de escoamento de tronco quando divididas pela área da copa, a maior entre as árvores com medição do processo.

Das observações acima, fica evidente a importância da unidade na interpretação de resultados de escoamento de tronco. Sendo a altura de escoamento de tronco estimada pela relação entre volume de escoamento e área da copa, e sendo as copas das árvores desuniformes, é completamente diferente expressar resultados de produção de escoamento de tronco em volume ou em altura de chuva equivalente.

A Figura 51 apresenta a relação entre o diâmetro à altura do peito (DAP) e a área da copa das árvores com monitoramento de escoamento de tronco. A Figura 52 apresenta as relações entre volume de escoamento de tronco e as características das árvores para o conjunto dos dados e para a média e o desvio padrão das medidas de cada tronco. Os volumes de escoamento de tronco tendem a crescer com o aumento do DAP e da área da copa, principalmente quando considerada a média

das medidas de cada tronco. O desvio padrão dessas medidas também tende a aumentar com o aumento do tamanho do tronco e da copa.

Se expresso em milímetros de chuva equivalente, o escoamento de tronco não tem relação linear com o DAP (Figura 53a). Essas variáveis se relacionam em uma área limitada por uma assíntota. A pequenos diâmetros de tronco (menores que 5 cm), correspondem alturas de escoamento de tronco bastante variadas (de 0 a 5 mm). Para diâmetros maiores que 5 cm, a produção de escoamento de tronco varia pouco (de 0 a 1 mm). Com a área da copa, o escoamento de tronco (mm) tem uma relação linear inversa. Quanto maior a área da copa, menor a produção de escoamento de tronco (mm) (Figura 53b).

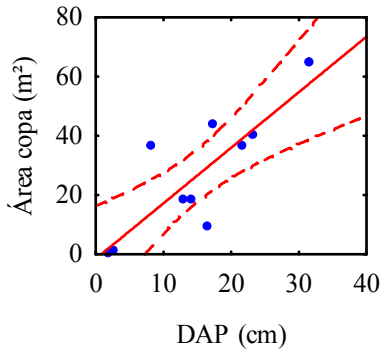


Figura 51. Relação entre a área da copa e o diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores com coleta de escoamento de tronco.

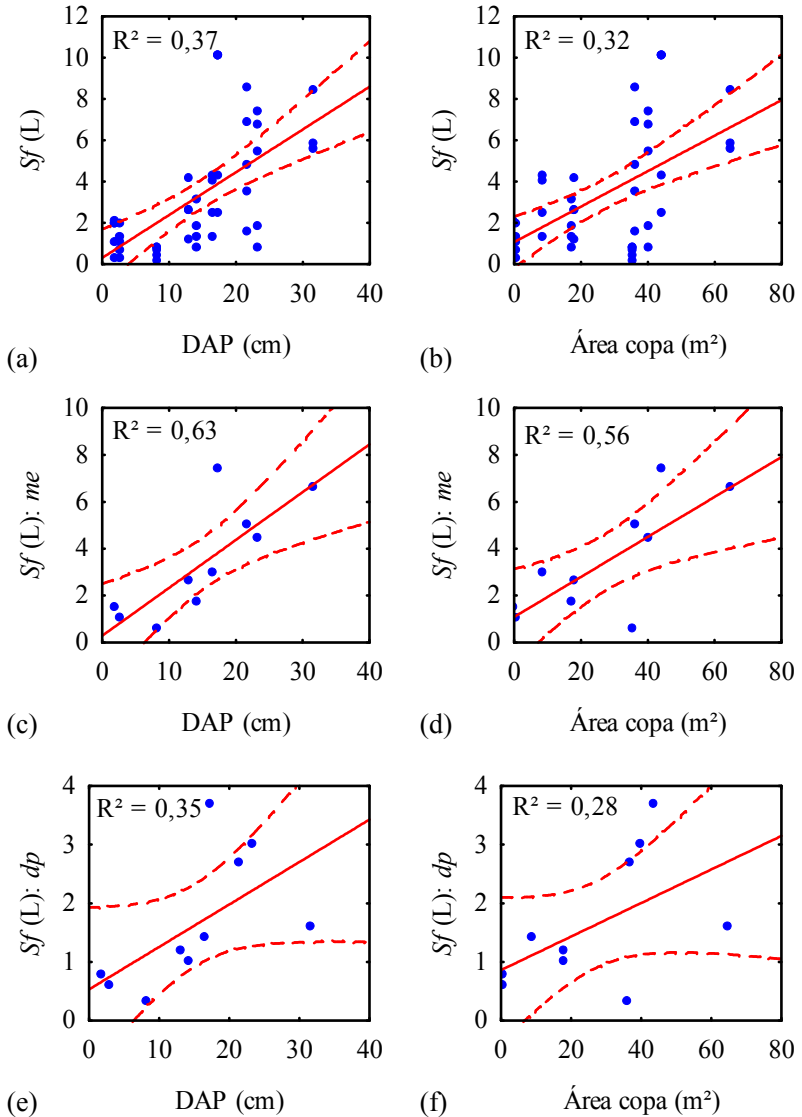


Figura 52. Relações entre os volumes de escoamento de tronco (S_f) e as características das árvores. (a) e (b) Todas as medidas de S_f ; (c) e (d) média do S_f de cada tronco; (e) e (f) desvio padrão das medidas de S_f de cada tronco. As linhas contínuas são as equações de regressão linear, e as linhas tracejadas o intervalo de confiança 0,95. DAP é diâmetro à altura do peito.

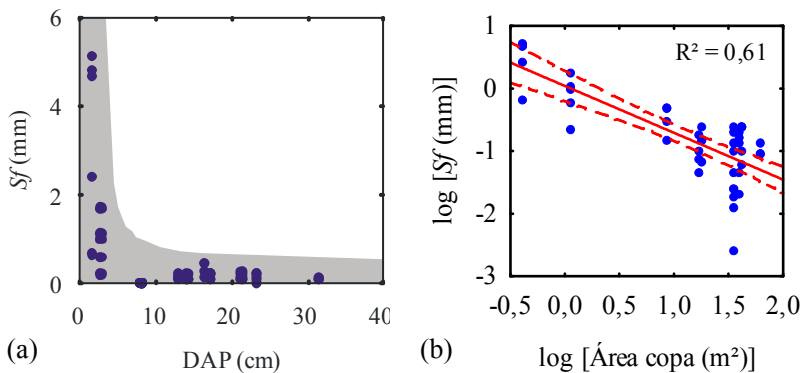


Figura 53. Relação entre o escoamento de tronco (S_f) em milímetros e as características das árvores. (a) Diâmetro à altura do peito (DAP); a área hachurada é conceitual. (b) Área da copa.

Esses resultados apontam para uma grande importância da área da copa na estimativa do escoamento de tronco em milímetros (a unidade útil para o balanço hídrico). Os valores de área da copa são grandes e de grande amplitude (variam de 0,2 a 64,7 m² e 0,2 a 40,3 m² nas parcelas A3 e B4, respectivamente) se comparados aos volumes de escoamento de tronco, que variaram de 0,1 L a 10,1 L nas parcelas monitoradas. Portanto, o peso da área da copa no cálculo da altura de escoamento de tronco é grande, e tem grande influência nos resultados.

Os resultados também sugerem que a copa tem uma função de armazenamento de água. E que essa função, do ponto de vista da geração de escoamento de tronco, pode ser mais relevante que o papel de captação e direcionamento de fluxo de água para o tronco.

4.4.2. Na bacia

Para estimar a produção de escoamento de tronco na bacia, a partir das medidas de volume e alturas de escoamento de tronco nas árvores, foram utilizados os dois métodos descritos na seção 3.5.3. Os resultados das alturas de escoamento de tronco, e percentuais em relação à chuva externa são apresentados na Tabela 25.

O método I resultou em alturas de escoamento de tronco homogêneas entre as duas parcelas. O método II resultou em escoamentos de tronco diferentes entre as parcelas: na parcela A3, os

valores de escoamento de tronco (mm) resultantes desse método são inferiores que as do método I; na parcela B3, o método II resulta em valores de escoamento de tronco superiores que o método I.

Com a pequena quantidade de informações de escoamento de tronco disponíveis, não foi possível analisar a relação do comportamento do escoamento de tronco com as características da chuva.

Tabela 25. Volumes e percentuais de escoamento de tronco das parcelas, estimados com os métodos I e II.

Período	P^1 (mm)	Local	Sf^2 (mm)			Sf (%)		
			I	II	Média	I	II	Média
22	109,6	A3	3,5	1,5	2,5	3,2	1,4	2,3
		B4	–	–	–	–	–	–
		Média	–	–	–	–	–	–
23	64,5	A3	2,3	1,0	1,7	3,6	1,6	2,6
		B4	2,5	4,5	3,5	3,9	7,0	5,4
		Média	2,4	2,8	2,6	3,8	4,3	4,0
24	76,7	A3	2,2	0,9	1,6	2,9	1,2	2,0
		B4	2,5	4,2	3,4	3,3	5,5	4,4
		Média	2,4	2,6	2,5	3,1	3,3	3,2
25	66,2	A3	–	–	–	–	–	–
		B4	1,2	2,1	1,7	1,8	3,2	2,5
		Média	–	–	–	–	–	–
26	39,9	A3	0,5	0,2	0,4	1,2	0,5	0,9
		B4	0,4	0,6	0,5	0,9	1,5	1,3
		Média	0,4	0,4	0,4	1,0	1,0	1,0
			Mínimo		0,4	Mínimo		0,9
			Máximo		3,5	Máximo		5,4
			Amplitude		3,2	Amplitude		4,6
			Mediana		1,7	Mediana		2,5
			Média		1,9	Média		2,7
			dp^3		1,1	dp		1,5
			CV^4		0,6	CV		0,5

¹ P é chuva externa; ² Sf é escoamento de tronco; ³ dp é desvio padrão; ⁴ CV é coeficiente de variação.

4.5. INTERCEPTAÇÃO PELA COPA

A perda por interceptação pela copa em cada período de monitoramento foi estimada com os seguintes métodos:

I. Considerando que a altura do escoamento de tronco é, em média, igual a 1,9 mm;

II. Considerando que o percentual de escoamento de tronco é, em média, igual a 2,7% da chuva externa;

III. Considerando que o escoamento de tronco é, em média, igual a 2,7% da chuva externa até atingir um máximo de 1,9 mm, e então passa a ser constante e igual a 1,9 mm.

As perdas por interceptação pela copa estimadas para cada período monitorado são apresentadas na Tabela A3 do Apêndice A. As estatísticas descritivas dessas estimativas são apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26. Resumo das perdas por interceptação pela copa na bacia experimental

	Perdas por interceptação pela copa					
	Método I		Método II		Método III	
	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
N^1	25	25	25	25	25	25
Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Máximo	28,7	23,8	25,6	25,9	28,7	25,9
Mediana	7,7	12,8	8,1	14,6	8,1	15,3
Média	8,3	12,3	8,4	14,8	8,8	15,1
Desvio padrão	6,8	5,7	5,8	6,0	6,5	5,9
CV^2	0,8	0,5	0,7	0,4	0,7	0,4

¹ N é o número de observações; ² CV é o coeficiente de variação.

Estimou-se também o total de perdas por interceptação pela copa ao longo do ano para cada ponto de monitoramento. Para essa estimativa foi utilizado apenas o método II. Os métodos I e III não foram utilizados para esta estimativa porque não se considerou adequado adotar um valor limite para o total anual de perdas por interceptação. A Tabela A4 apresenta os totais de chuva interna, escoamento de tronco e perda por interceptação pela copa na bacia experimental, em cada ponto de monitoramento. Os valores de chuva interna (mm) são a soma das medidas de todos os períodos monitorados (exceto o 17). Os valores de

escoamento de tronco e de perda por interceptação pela copa são estimados pelo método II.

Tabela A4. Totais anuais de chuva interna (Tf), escoamento de tronco (Sf) e perdas por interceptação pela copa (Ic) em cada ponto de monitoramento. Percentuais em relação à chuva externa (1621 mm).

Local	Tf^1		Sf^2		Ic^2	
	mm	%	mm	%	mm	%
A1-2	1165	71,9	44	2,7	413	25,4
A3	1493	92,1	44	2,7	84	5,2
A4	1310	80,8	44	2,7	268	16,5
B1-2	1416	87,3	44	2,7	161	10,0
B3	1154	71,2	44	2,7	423	26,1
B4	1127	69,5	44	2,7	451	27,8
VERT	1249	77,0	44	2,7	328	20,3
Z1-2	1695	104,5	0	0,0	-74	-4,5
Z3	1544	95,3	44	2,7	33	2,0
Z4	1544	95,3	44	2,7	33	2,0

¹ Soma das medidas de Tf de todos os períodos de monitoramento; ² valores estimados.

Para avaliar a relação entre as perdas por interceptação pela copa e a chuva externa, realizou-se uma análise de regressão linear entre essas duas variáveis (Figura 54). As equações das regressões lineares são apresentadas nas equações 4.1, 4.2 e 4.3, e as estatísticas das regressões e dos coeficientes são apresentadas nas Tabela 27 e Tabela 28.

(a) Interceptação estimada com o método I:

$$Ic = -0,4974 + 0,1355 \cdot P \quad (4.1)$$

onde Ic é perda por interceptação pela copa (mm); e P é chuva interna (mm).

(b) Interceptação estimada com o método II:

$$Ic = 1,3439 + 0,1092 \cdot P \quad (4.2)$$

(c) Interceptação estimada com o método III:

$$Ic = 0,6876 + 0,1255 \cdot P \quad (4.3)$$

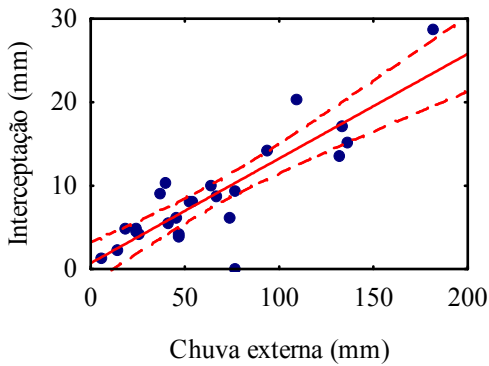
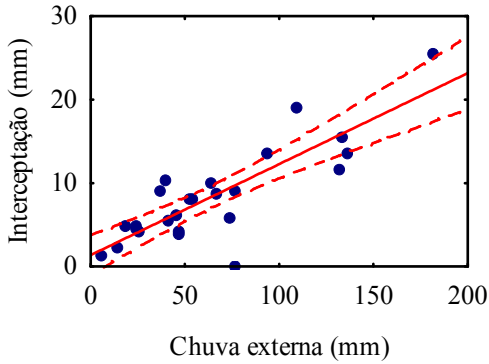
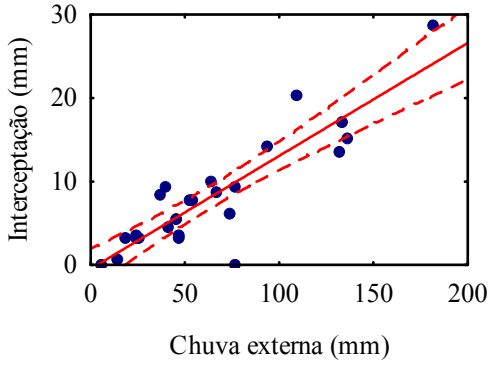


Figura 54. Relação entre as perdas por interceptação pela copa (I_c) e a chuva externa. (a) I_c estimada pelo método I; (b) I_c estimada pelo método II; (c) I_c estimada pelo método III. A linha contínua indica a equação de regressão e as linhas tracejadas são os intervalos de confiança 0,95.

Tabela 27. Estatísticas das regressões lineares das equações 4.1, 4.2 e 4.3.

Equação	R^1	R^2	$GL\ 1^3$	$GL\ 2$	F^4	p^5
4.1	0,8833	0,7801	1	23	81,6	0,000
4.2	0,8361	0,6991	1	23	53,4	0,000
4.3	0,8605	0,7405	1	23	65,6	0,000

¹ R é o coeficiente de correlação; ² R^2 é o coeficiente de regressão; ³ GL é o número de graus de liberdade; ⁴ F é o valor-F da distribuição de Fisher; ⁵ p é o valor-p do teste de hipótese.

Tabela 28. Estatísticas dos coeficientes das equações 4.1, 4.2 e 4.3.

Equação	Coefficiente	Valor	dp^1	p^2	-95% IC^3	+95% IC
4.1	linear	-0,4974	1,1719	0,6752	-2,9217	1,9269
	angular	0,1355	0,0150	0,0000	0,1045	0,1665
4.2	linear	1,3439	1,1670	0,2613	-1,0702	3,7580
	angular	0,1092	0,0149	0,0000	0,0783	0,1401
4.3	linear	0,6876	1,2108	0,5756	-1,8170	3,1923
	angular	0,1255	0,0155	0,0000	0,0935	0,1576

¹ dp é desvio padrão; ² p é o valor-p do teste de hipótese; ³ IC é o intervalo de confiança.

Em plantio de araucária com 29 anos de idade e diâmetro à altura do peito entre 9 e 47 cm, na Serra do Mar (SP), Sousa et al. (2009) mediram estudaram interceptação pela copa por 4 meses, com chuva externa total de 1121 mm, e encontraram a seguinte equação de regressão entre P e Ic :

$$Ic = 0,5409 + 0,0804 \cdot P \quad (R^2 = 0,54) \quad (4.4)$$

Em Mata Atlântica secundária há 45 anos em regeneração, também na Serra do Mar (SP), durante um ano de estudo e com chuva externa total de 2220 mm, Arcova et al. (2003) encontraram para os períodos chuvoso e pouco chuvoso, respectivamente:

$$Ic = 0,5482 + 0,1473 \cdot P \quad (R^2 = 0,81) \quad (4.5)$$

e

$$Ic = -0,0617 + 0,2665 \cdot P \quad (R^2 = 0,58) \quad (4.6)$$

Observa-se que os coeficientes angulares das regressões obtidas na Bacia Experimental do rio Araçonga (ARA) são semelhantes ao da

regressão da Mata Atlântica em período chuvoso (Eq. 4.5). Esse resultado é esperado devido às semelhanças de clima e vegetação: a Floresta Ombrófila Mista (FOM) é uma das formações florestais da Mata Atlântica, e como tal, presença vegetação com aspectos típicos desse bioma: vegetação densa e heterogênea, com grande diversidade de espécies vegetais, estrato inferior bem desenvolvido, presença abundante de bromélias, cipós, taquaras, xaxins. Então deve-se esperar uma maior semelhança entre resultados dessas florestas do que entre resultados de FOM e de plantio de araucárias, cuja vegetação é homogênea. Ainda, o clima da região onde se insere a ARA é chuvoso, sem estação seca, por isso a semelhança com a Eq. 4.5 e não com a Eq. 4.6.

O comportamento em conjunto dos três processos aqui estudados (interceptação pela copa, chuva interna escoamento de tronco) ao longo dos períodos monitorados é apresentado nas Figura 55 e Figura 56.

Das Figura 55 e Figura 56 nota-se que considerar o escoamento de tronco constante e igual a 1,9 mm (Método I) gerou percentuais altos de escoamento de tronco em períodos com pouca chuva externa. No período 18, por exemplo, 34% da chuva externa escoou pelos troncos. Esse valor está acima da maioria dos registros desse processo. Os Métodos II e III geraram resultados mais semelhantes aos de outros estudos.

É importante notar que o comportamento da interceptação é regido, neste trabalho, sobretudo pela chuva interna. Isso porque com os dados de escoamento de tronco disponíveis não foi possível avaliar adequadamente as variações desse processo com as diferentes características da chuva externa de cada período, e uma média foi estimada para todo o período monitorado. Sendo a interceptação estimada a partir da diferença entre chuva externa e a soma da chuva interna e do escoamento de tronco, este último não contribuiu para a oscilação da interceptação ao longo dos períodos monitorados. Portanto, os valores de interceptação aqui apresentados, embora sejam úteis para se ter uma idéia da importância desse processo no ciclo hidrológico em FOM, devem ser olhados com cautela.

Olhando para os três processos para cada local de monitoramento individualmente (Figura 57), o ponto Z1-2 chama a atenção: o valor estimado de perda por interceptação pela copa nesse ponto é negativo. Esse valor negativo de interceptação é a expressão do fenômeno observado nesse local e discutido na seção 4.3.2, em que a chuva interna frequentemente superou a chuva externa.

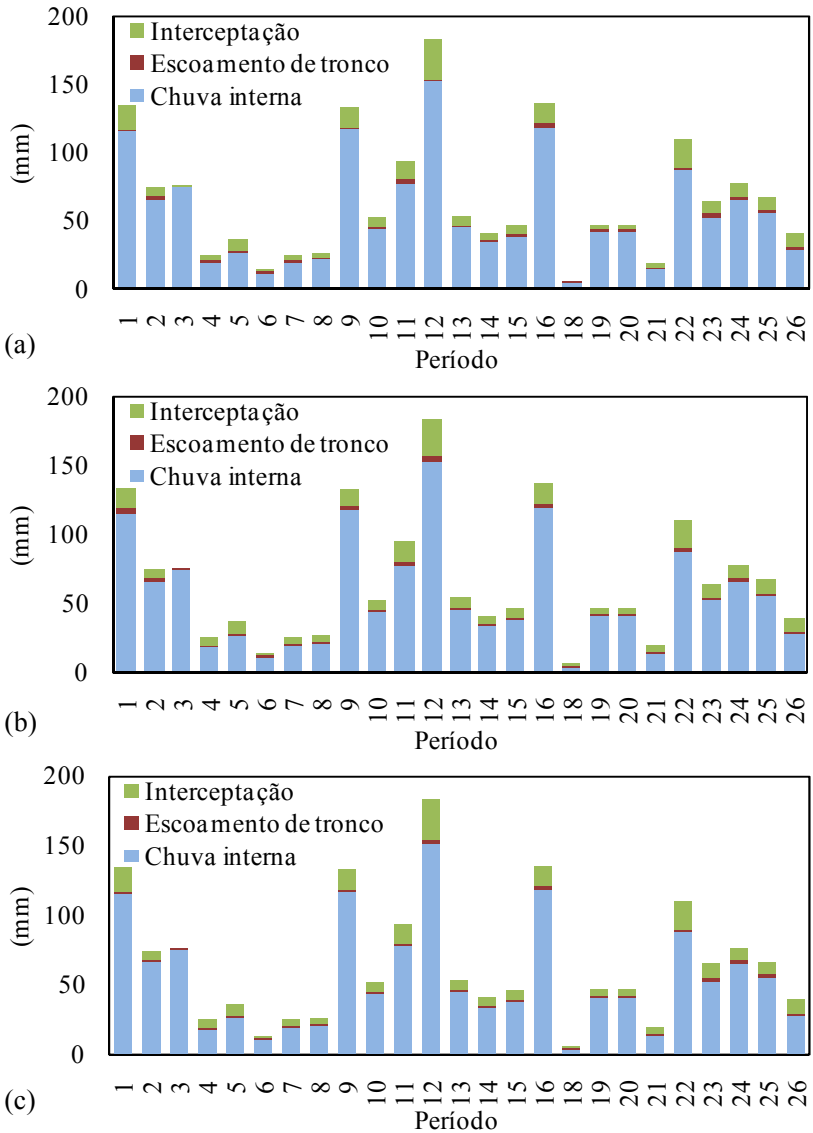
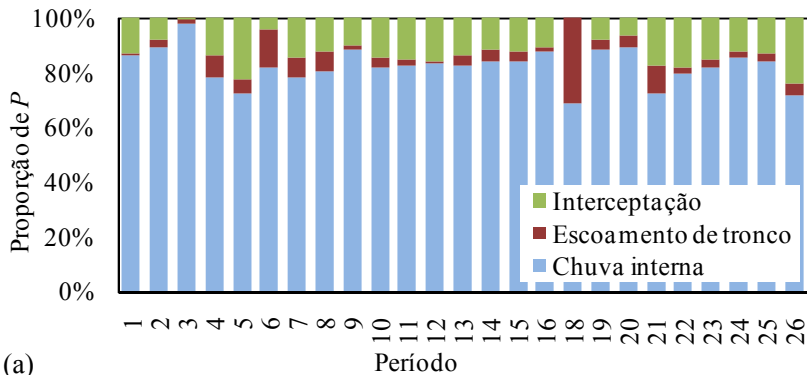
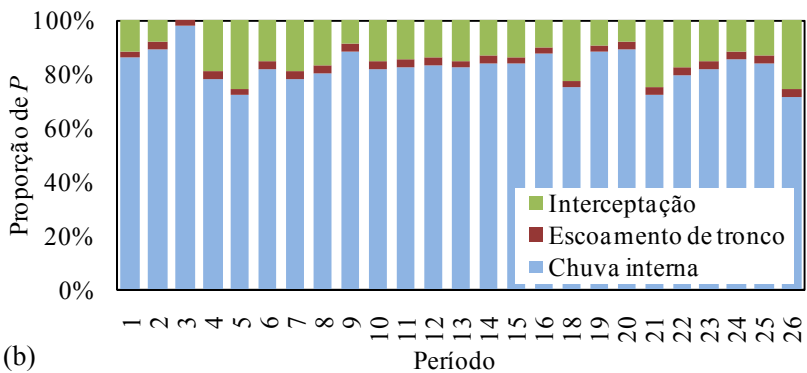


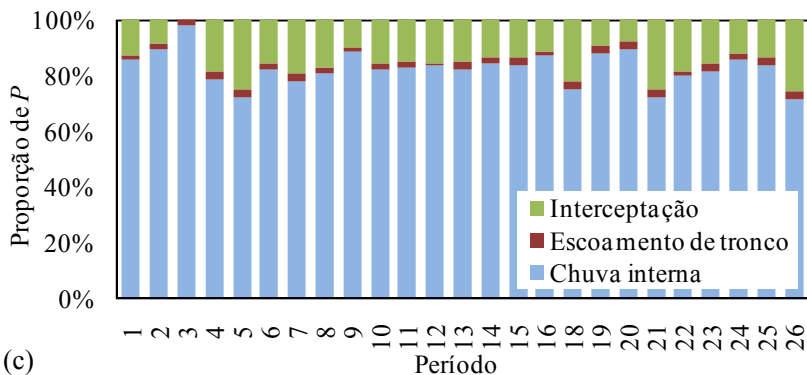
Figura 55. Chuva interna, escoamento de tronco e perdas por interceptação em cada período monitorado. Interceptação estimada pelo: (a) Método I; (b) Método II; (c) Método III.



(a)



(b)



(c)

Figura 56. Proporção em relação à chuva externa (P) dos processos: chuva interna, escoamento de tronco e interceptação, em cada período monitorado. Interceptação estimada pelo: (a) Método I; (b) Método II; (c) Método III.

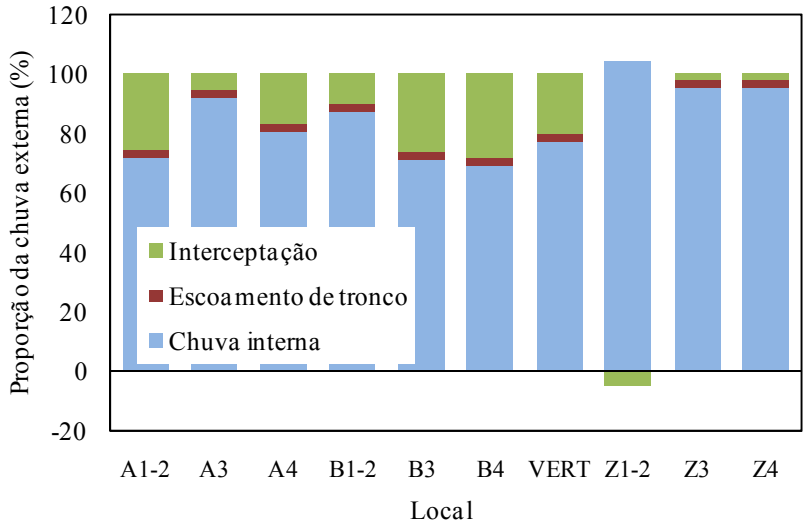


Figura 57. Proporção em relação à chuva externa (1621 mm) dos processos: chuva interna, escoamento de tronco e interceptação, em cada local monitorado.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. CONCLUSÕES

A interceptação redistribui temporal e espacialmente a água na bacia hidrográfica. No intuito de estudar o processo da interceptação da água da chuva em uma bacia com Floresta Ombrófila Mista, o presente trabalho instalou um sistema de monitoramento de chuva externa, chuva interna, escoamento de tronco e cobertura florestal. A bacia experimental do rio Araçuaia (ARA) é uma pequena bacia (5,3 ha, segunda ordem) completamente coberta por Floresta Ombrófila Mista secundária, localizada no planalto norte catarinense.

A redistribuição da água da chuva está intrinsecamente ligada à vegetação que cobre a bacia hidrográfica. Para caracterizar a vegetação na ARA, o índice de cobertura do dossel (ICD) foi monitorado nos 10 pontos de monitoramento de chuva interna e duas parcelas foram caracterizadas quanto ao diâmetro à altura do peito (DAP) e tamanho da copa das árvores. Na parcela A3, os diâmetros das árvores variam de 1,2 a 31,8 cm, sendo mais frequentes de 2 a 3 cm; a área das copas variam entre 0,2 a 64,7 m², e somam 244 m² de copa. Na parcela B4, os diâmetros das árvores variam de 1 a 23,2 cm, sendo mais frequentes entre 1 e 2 cm; e as copas têm de 0,2 a 40,3 m² e somam 144 m² de copa. As árvores frequentes nessas parcelas são as caixetas, os guamirins, as erva-mate, e os cuvatãs. Os índices de cobertura de dossel da bacia variam de 54 a 94%, dependendo do local e época do ano. Na média, o ICD varia de 82,4 no inverno até 87,4 no verão. O ponto B4 é diferente dos demais: sua média anual é 69% e seus valores são significativamente menores que os outros pontos ao longo de todo o ano.

A chuva externa somou 1621 mm em 368 dias, distribuída em 88 eventos. Em 206 dias (56%) não houve chuva. A chuva que incide sobre a bacia experimental é significativamente mais homogênea que a chuva interna; portanto, a variabilidade observada na chuva interna pode ser atribuída à presença da vegetação.

A chuva interna somou 1368 mm, ou 84,4 % da chuva externa. Esse processo hidrológico se mostrou altamente heterogêneo na bacia experimental: sua proporção em relação à chuva externa variou de 24% a 131% da chuva externa, dependendo da chuva do período e do local de medição.

Em valores absolutos, a chuva interna está fortemente e linearmente relacionada com a chuva externa: quanto maior a chuva externa, maior a chuva interna. Ainda, a amplitude e a variância da chuva interna também são maiores quanto maior a chuva externa. A proporção da chuva externa convertida em chuva interna não se relaciona linearmente com a chuva externa: quanto maior a chuva externa, menos dispersos são os percentuais de chuva interna.

Em quase todos os pontos de monitoramento (exceto os A1-2, A4 e B4) há períodos em que a chuva interna supera a chuva externa, i.e., há um efeito de concentração de água da chuva. Esses períodos não coincidem em cada local, o que sugere que esse efeito está mais relacionado com as características da vegetação (e sua mudança ao longo do tempo) do que com as características dos eventos de chuva. No ponto Z1-2, a chuva interna superou a chuva externa em 70% dos períodos monitorados. Na fase em que a vegetação estava mais densa, esse efeito foi mais freqüente do que quando a vegetação reduziu sua densidade. Outro indício que sugere uma relação entre a presença da vegetação e o efeito concentrador de fluxo é o fato de esse efeito não ter sido observado no ponto B4, cujo índice de cobertura é significativamente inferior que os dos outros pontos. Ou seja: com menos vegetação, a chance de ocorrer esse fenômeno se reduz.

A proporção de chuva interna não apresentou qualquer tipo de correlação estatística com ICD. Há estudos que propõem a utilização do índice de cobertura do dossel obtido com fotografias em substituição ao coeficiente angular dos dados de Tf e P . Entretanto, os resultados aqui apresentados invalidam a utilização desse procedimento em Floresta Ombrófila Mista.

A capacidade de armazenamento da copa foi estimada em cada local monitorado, a partir das alturas de chuva interna e externa. Estimou-se que, na média, 3,4 mm podem ficar armazenados nas copas, mas esse valor varia de 0,2 e 9,9 mm, de acordo com o local na bacia.

As medidas de escoamento de tronco são mais heterogêneas que as de chuva interna, porque as diferenças entre as árvores são uma fonte extra de variabilidade. Os volumes de escoamento de tronco tendem a crescer com o aumento do diâmetro do tronco e da área da copa, principalmente quando considerada a média das medidas de cada tronco. O desvio padrão dessas medidas também tende a aumentar com o aumento do tamanho do tronco e da copa.

A altura de escoamento de tronco e o DAP não estão linearmente relacionados. A pequenos diâmetros de tronco (menores que 5 cm),

correspondem alturas de escoamento de tronco bastante variadas (de 0 a 5 mm). Para diâmetros maiores que 5 cm, a produção de escoamento de tronco varia pouco (de 0 a 1 mm). Em média, a altura de escoamento de tronco na bacia foi de 1,9 mm, ou 2,7 % da chuva externa.

A perda por interceptação pela copa na bacia variou de 0 a 28,7 mm ao longo do ano, representando em média 12,3 a 15,1% da chuva externa. As perdas originadas pelo processo de interceptação se relacionam linearmente com a chuva externa na bacia.

5.2. RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Para eliminar a subjetividade e reduzir o ônus da classificação das fotografias digitais, recomenda-se a determinação automática do limiar de intensidade dos pixels a serem classificados como cobertura ou abertura da copa. O aplicativo Sidelook 1.1, por exemplo, usa um algoritmo baseado no valor da borda para determinar automaticamente o limiar. Esse aplicativo foi considerado adequado por Monte et al. (2007).

Quanto à utilização a fração de cobertura da copa estimada com fotografias para a modelagem de interceptação, esse procedimento deve ser avaliado em outros tipos de vegetação e clima antes de ser amplamente utilizado. Ainda, recomenda-se avaliar a validade desse procedimento em cada local onde se pretende estimar as perdas por interceptação.

Para avaliar espacialmente a chuva interna, sugere-se medir o processo com distribuição regular no espaço.

Os mecanismos do escoamento de tronco ainda são obscuros. A partir dos dados levantados neste trabalho não é possível entender qual o papel das características da chuva, das diferentes espécies e diferentes tamanhos de árvore nesse processo. Recomenda-se estudar separadamente essas características: (i) para elucidar a influência do tamanho das copas e troncos sugere-se medir o processo em árvores da mesma espécie, mas com diferentes DAPs e tamanhos de copa; (ii) para entender o papel de cada espécie na produção de escoamento de tronco da parcela ou bacia, recomenda-se medir o processo em árvores de diferentes espécies mas com porte semelhante; (iii) para compreender o papel das características da chuva, é preciso monitorar em intervalos de tempo compatível (da ordem de minutos), e durante tempo suficiente para abranger todos os tipos de chuva da região (p.ex. um ano). Para

extrapolar o escoamento de tronco da escala da árvore para a de parcela ou bacia, é preciso primeiramente realizar os itens (i) a (iii).

Para compreender as relações entre chuva externa, chuva interna, escoamento de tronco e interceptação, recomenda-se medir todos os processos na mesma escala temporal, de preferência automaticamente (intervalo de 10 minutos). Apenas dessa maneira é possível estudar a evolução dos processos, desde o início da chuva até a evaporação da água interceptada, e entender a interação entre eles.

Para melhor interpretar o fenômeno de interceptação negativa e outros fenômenos desconhecidos que podem aparecer em escala pontual, recomenda-se realizar medições meteorológicas simultâneas às medições de chuva externa, chuva interna e escoamento de tronco.

Finalmente, antes de iniciar um trabalho de monitoramento desses processos, sugere-se pesquisar sobre os problemas encontrados em trabalhos semelhantes. Dessa maneira, pode-se pensar em alternativas para evitá-los e, sobretudo, planejar um sistema de monitoramento com “folga” para esses percalços. No Apêndice B constam exemplos de adversidades encontrados durante este trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R.F.; DIAS, H.C.T.; OLIVEIRA JR., J.C.; GARCIA, F.N.M. Avaliação da precipitação efetiva de um fragmento de Mata Atlântica em diferentes estágios de regeneração no município de Viçosa, MG. **Ambi-Água**, Taubaté, v.2, n.1, p.83–93, 2007.
- ANDRADE, G.C; SILVA, H.D.; FERREIRA, C.A.; BELLOTE, A.F.J.; MORO, L. Contribución del agua de lluvia en la oferta de nutrientes minerales para *Eucalyptus grandis*. **Bosque**, Valdivia, v.16, n.1, p.47–51, 1995.
- ANDRÉASSIAN, V. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.291, p.1–27, 2004.
- ARCOVA, F.C.S.; CICCO, V. Fluxo de nutrientes através da precipitação, precipitação interna e escoamento pelo tronco em floresta natural secundária no Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha-SP. **Bol. Técn. IF**. São Paulo, v.41, n.1, p.37–58, 1987.
- ARCOVA, F.C.S.; CICCO, V.; ROCHA, P.A.B. Chuva efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - São Paulo. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.27, n.2, p.257–262, 2003.
- BALIEIRO, F.C.; CUNHA, C.F.; MOTTA, A.F.; FRANCO, A.A. Avaliação de um coletor de água de escoamento pelo tronco. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.25, n.2, p.167–173, 2001.
- BALIEIRO F.C.; FRANCO, A.A.; FONTES, R.L.F.; DIAS, L.E.; CAMPELLO, E.F.C.; FARIA, S.M. Evaluation of the throughfall and stemflow nutrient contents in mixed and pure plantations of *Acacia mangium*, *Pseudosamanea guachapele* and *Eucalyptus grandis*. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.31, n.2, p.339–346, 2007.
- BEVEN, K.J. **Rainfall-runoff modelling, the primer**. Chichester: John Wiley & Sons, 2001. 360 p.

BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.55, p.3–23, 1982.

BRASIL. **Portaria nº 49, de 06 de fevereiro de 2002**. Brasília: Diário Oficial da União, n.27, p.63, 7 fev. 2002.

BRASIL. **Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006**. Brasília: Diário Oficial da União, n.246, p.1–4, 26 dez. 2006.

BRASIL. **Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008**. Brasília: Diário Oficial da União, p. 1–5, 24 nov. 2008.

BRITEZ, R. M. et al. Interceptação das chuvas em duas formações florestais da planície litorânea da Ilha do Mel, PR. In: Fórum de Geobiohidrologia, 1., 1998, Curitiba. **Anais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, p.60–69, 1998.

CASTRO, P.S.; VALENTE, O.F.; COELHO, D.T.; RAMALHO, R.S. Interceptação da chuva por mata natural secundária na região de Viçosa, MG. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.7, n.1, p.76–89, 1983.

CESAR, S.F.; DOMINGUES, E.N.; NALON, M.A.; VELLARDI, A.C.V. Estudo hidrodinâmico na floresta latifoliada das escarpas da Serra do Mar, na região de Cubatão-SP. In: Congresso Florestal Brasileiro, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, v.3, p. 320–329, 1990.

CHAFFE, P.L.B. **Monitoramento e modelagem do processo chuva-vazão de uma pequena bacia florestal com ênfase em interceptação**. 2009. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

CHAFFE, P.L.B.; KOBAYAMA, M.; YAMASHIKI, Y.; TAKARA, K. Is interception information important for rainfall-runoff modeling? **Annual Journal of Hydraulic Engineering**, JSCE, Tokyo, v.54, p.73–78, 2010.

CICCO, V.; ARCOVA, F.C.S. Pesquisas em microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, Cunha-SP. I -

Quantidade de água. In: In: FÓRUM DE GEOBIOHIDROLOGIA, 1., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, p.30–38, 1998.

CICCO, V.; ARCOVA, F.C.S.; RANZINI, M.; SANTOS, J.B.A.; FORTI, M.C. Recursos hídricos na Mata Atlântica: estudo de caso do Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, Cunha – SP. In: Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, 1., Taubaté, 2007. **Anais. IPABHi**, p.25–33, 2007.

COELHO NETTO, A. L.; SANCHE, M.; PEIXOTO, M. N. O. Precipitação e interceptação florestal em ambiente tropical montanhoso, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia**, v. 4, n. 2, p. 55–71, 1986.

CROCKFORD, R.H.; RICHARDSON, D.P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. **Hydrol. Process.**, West Sussex, v.14, p.2903–2920, 2000.

CUARTAS, L.A.; TOMASELLA J.; NOBRE A.D.; HODNETT M.G.; WATERLOO, M.J.; MÚNERA, J.C. Interception water-partitioning dynamics for a pristine rainforest in Central Amazonia: Marked differences between normal and dry years. **Agric. and Forest Meteorol.**, v.145, p.69–83, 2007.

DE GROEN, M.M. **Modelling interception and transpiration at monthly time steps: introducing daily variability through Markov chains**. 211p. Dissertation (Degree of Doctor) – International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering, Delft University of Technology, 2002.

DIJK, A.I.J.M.; BRUIJNZEEL, L.A. Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. Part 1. Model description. **J.Hydrol.**, Amsterdam, v.247, p.230–238, 2001.

DUROCHER, M.G. Monitoring of spatial variability of forest interception. **Hydrol. Process.**, West Sussex, v.4, p.215–229, 1990.

DYKES, A.P. Rainfall interception from a lowland tropical rainforest in Brunei. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.200, p.260–279, 1997.

FERREIRA, S.J.F.; LUIZÃO F.J.; DALLAROSA, R.L.G. Chuva interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v.35, n.1, p.55–62, 2005.

FRANKEN, W.; LEOPOLDO, P.R.; MATSUI, E.; RIBEIRO, M.N.G. Estudo da interceptação da água da chuva em cobertura florestal Amazônica do tipo terra firme. **Acta Amazonica**, v.12, n.2, p.327–331, 1992.

GASH, J.H.C. An analytical model of rainfall interception by forests. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 105, 43–55, 1979.

GASH, J.H.C.; LLOYD, C.R.; LACHAUD, G. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. **J.Hydrol.**, Amsterdam, v.170, p.79–86, 1995.

GÊNOVA, K.B.; HONDA, E.A.; DURIGAN, G. Processos hidrológicos em diferentes modelos de plantio de restauração de mata ciliar em região de cerrado. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v.19, n.2, p.189–200, 2007.

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

GERRITS, A.M.J.; SAVENIJE, H.H.G.; HOFFMANN, L.; PFISTER, L. New technique to measure forest floor interception – an application in a beech forest in Luxembourg. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, Göttingen, v.11, p.695–701, 2007.

GIEHL, E.L.H. (coord.) Flora digital do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Disponível em: <http://ufrgs.br/floradigital>. 2012. Consulta em 20/01/2013.

GIGLIO, J. N. **Caracterização das áreas de inundação em Rio Negrinho - SC**. 2010. 85f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

GIGLIO, J. N.; KOBIYAMA, M. Interceptação da chuva: uma revisão com ênfase no monitoramento em florestas brasileiras. **Rev. Bras. Recur. Híd.**, 2013 (no prelo).

GOERL, R. F. **Estudo de inundações em Rio Negrinho - SC sob a ótica dos desastres naturais**. 2010. 103f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

GRANDO, A. **Monitoramento e modelagem hidrossedimentológica em uma microbacia hidrográfica experimental**. 2011. 175f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

HAMILTON, E.L.; ROWE, P.B. **Rainfall interception by chaparral in California**. Calif. Dep. Nat. Resources, Div. Forestry, 43 pp., illus. 1949. Disponível em: <http://hdl.handle.net/2027/coo.31924003115767>. Consulta em 02/02/2013.

HANCHI, A.; RAPP, M. Stemflow determination in forest stands. **Forest Ecol. Manage.**, Amsterdam, v.97, p.231–235, 1997.

HELVEY, J.D. Rainfall Interception by Hardwood Forest Litter in the Southern Appalachians. **U.S. Forest Service Research Paper S E-8**. Asheville: U.S. Department of Agriculture, 1964. 11p.

HELVEY, J.D.; PATRIC, J.H. Canopy and Litter Interception of Rainfall by Hardwoods of Eastern United States. **Water Resour. Res.**, Washington, v.1, n.2, 1965.

HERWITZ, S.R. Buttresses of tropical rainforest trees influence hillslope processes. **Earth. Surf. Process. Landf.**, v.13, p.563–567, 1988.

HERWITZ, S.R.; SLYE, R.E. Three-dimensional modeling of canopy tree interception of wind-driven rainfall. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.16, p.205–226, 1995.

HEWLETT, J.D. **Principles of forest hydrology**. Georgia: University of Georgia Press Athens, 1982. 183p.

HÖLSCHER, D.; SÁ, T.D. A.; MÖLLER, R.F.; DENICH, M.; FÖLSTER, H. Rainfall partitioning and related hydrochemical fluxes in a diverse and in a mono specific (*Phenakospermum guyannense*) secondary vegetation stand in eastern Amazonia. **Oecologia**, v.114, p.251–257, 1998.

HORTON, R.E. Rainfall interception. **Mon. Weather Rev.**, Washington, v.47, n.9, 1919.

KEIM, R.F.; SKAUGSET, A.E.; WEILER, M. Temporal persistence of spatial patterns in throughfall. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.314, p.263–274, 2005.

KLEIN, R.M. **Mapa fitogeográfico do Estado de Santa Catarina**. Flora ilustrada catarinense, V. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1978. 24p. + 2 mapas.

KONISHI, S.; TANI, M.; KOSUGI, Y.; TAKANASHI, S.; SAHAT, M.M.; NIK, A.R.; NIIYAMA, K.; OKUDA, T. Characteristics of spatial distribution of throughfall in a lowland tropical rainforest, Peninsular Malaysia. **Forest Ecol. Manage.**, Amsterdam, v.224, p.19–25, 2006.

KROEHN, M. A força das cidades médias. **Exame**, p.68–70, 5 out. 2011.

KURAJI, K.; TANAKA, Y.; TANAKA, N.; KARAKAMA, I. Generation of stemflow volume and chemistry in a mature Japanese cypress forest. **Hydrol. Process.**, West Sussex, v.15, p.1967–1978, 2001.

LEITE, P.F.; KLEIN, R.M. Vegetação. In: IBGE. **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. v.2.

LEOPOLDO, P.R.; FRANKEN, W.; SALATI, E.; RIBEIRO, M.N.G. Towards a water balance in the central Amazonian region. **Experientia**, v.43, n.3, p.222–233, 1987.

LEVIA JR., D.F.; FROST, E.E. A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.274, p.1–29, 2003.

LIKENS, G.E.; EATON, J.E. A polyurethane stemflow collector for trees and shrubs. **Ecology**, v.51, p.938–939, 1970.

LIMA, P.R.A.; LEOPOLDO, P.R. Quantificação de componentes hidrológicos de uma mata ciliar, através do modelo de balanço de massas. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.24, n.3, p.241–252, 2000.

LIMA, W.P. Intercepção da chuva em povoamentos de eucalipto e de pinheiro. **IPEF**, Piracicaba, n.13, p.75–90, 1976.

LIMA W.P.; NICOLIELO N. Chuva efetiva e intercepção em florestas de pinheiros tropicais e em reserva de cerrado. **IPEF**, Piracicaba, n.24, p.43–46, 1983.

LINO, J.F.L. **Análise da dinâmica hidrossedimentológica da bacia hidrográfica do Rio Preto (SC) com o modelo SWAT**. 2009. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

LLEYTON, L.; REYNOLDS, E.R.C.; THOMPSON, F.B. Rainfall interception in forest and moorland. In: SOPPER, W.E.; LULL, H.W. (ed.) **Forest Hydrology**. Proceedings of the International Symposium on Forest Hydrology, 1965, Pennsylvania. Oxford: Pergamon, 1967. p.163–178.

LLORENS, P.; GALLART, F. A simplified method for forest water storage capacity measurement. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.240, p.131–144, 2000.

LLOYD, C.R.; GASH, J.H.C.; SHUTTLEWORTH, W.J.; MARQUES Fº, A. DE O. The measurement and modelling of rainfall interception by Amazonian rain forest. **Agr. Forest Meteorol.**, v.43, p.277–294, 1988.

LLOYD, C.R.; MARQUES Fº, A. DE O. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in amazonian rainforest. **Agr. Forest. Meteorol.**, v.42, p.63–73, 1988.

LOESCHER, H.W.; POWERS, J.S.; OBERBAUER, S.F. Spatial variation of throughfall volume in an old-growth tropical wet forest, Costa Rica. **J. Trop. Ecol.**, Cambridge, v.18, p.397–407, 2002.

LOPES, L.R.; VITAL, A.R.T.; FRANKEN, W.K.; FERREIRA, S.J.; MARQUES Fº, A. DE O.; FAJARDO, J.D.V.; OLIVEIRA, J.A.D. Interceptação e ciclagem de nutrientes em floresta de encosta na Amazônia Central. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste, 1., Cuiabá, 2007. **Anais.** Porto Alegre: ABRH, p.1–12, 2007.

LOSHALI, D.C.; SINGH, R.P. Partitioning of rainfall by three Central Himalayan forests. **Forest Ecol. Manage.**, Amsterdam, v.53, p.99–105, 1992.

MACIEL, C.B. **Análises geotécnicas e hidrossedimentológicas de estradas não pavimentadas: estudo de caso da Fazenda Cerro Azul - Planalto Norte Catarinense.** 2010. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

MALUTTA, S. **Aplicação do modelo SWAT na Bacia do Rio Negrinho - SC.** 2010. 97f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

MANFROI, O.J.; KOICHIRO, K.; NOBUAKI, T.; MASAKAZU, S.; NAKAGAWA, M.; NAKASHIZUKA, T.; CHONG, L. The stemflow of trees in a Bornean lowland tropical forest. **Hydrol. Process.**, West Sussex, v.18, p.2455–2474, 2004.

MCCULLOCH, J.S.G.; ROBINSON, M. History of forest hydrology. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.150, p. 189–216, 1993.

MEDEIROS, P.H.A.; ARAÚJO, J.C.; BRONSTERT, A. Interception measurements and assessment of Gash model performance for a tropical semi-arid region. **Rev. Ciênc. Agron.**, Fortaleza, v.40, n.2, p.165–174, 2009.

MONTE, M.A.; REIS, M.G.F.; REIS, G.G.; LEITE, H.G.; STOCKS, J.J. Métodos indiretos de estimação da cobertura de dossel em povoamentos de clone de eucalipto. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.42, n.6, p.769–775, 2007.

MOSER, J.M. Solos. In: IBGE. **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. v.2.

MOTA, A.A. **Tempo de concentração em pequena bacia experimental**. 2012. 131p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

MOURA, A.E.S.S.; CORREA, M.M.; DA SILVA, E.R.; FERREIRA, R.L.C.; FIGUEIREDO, A.C.; POSSAS, J.M.C. Interceptação das chuvas em um fragmento de floresta da mata atlântica na Bacia do Prata, Recife, PE. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.33, n.3, p.461–469, 2009.

NALON, M.A.; VELLARDI, A.C.V. Interceptação na floresta secundária das encostas da Serra do Mar, região de Cubatão, SP. In: Congresso Nacional sobre Essências Nativas, 2., 1992, São Paulo. Anais. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 4, p. 894–899, 1992.

NÁVAR, J. Stemflow variation in Mexico's northeastern forest communities: its contribution to soil moisture content and aquifer recharge. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.408, p.35–42, 2011.

NÁVAR, J.; BRYAN, R. Interception loss and rainfall redistribution by three semi-arid growing shrubs in northeastern Mexico. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.115, p. 51–63, 1990.

NIMER, E. Clima. In: IBGE. **Geografia do Brasil**: Região Sul. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. v.2.

OLIVEIRA, L.L.; COSTA, R.F.; SOUSA, F.A.S.; COSTA, A.C.L.; BRAGA, A.P. Chuva efetiva e interceptação em Caxiuanã, na Amazônia Oriental. **Acta Amazonica**, v.38, n.4, p.723–732, 2008.

OLIVEIRA JR., J.C.; DIAS, H.C.T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da Mata Atlântica. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.29, n.1, p.9–15, 2005.

OYARZÚN, C.E.; GODOY, R.; STAELENS, J.; DONOSO, P.J.; VERHOEST, N.E.C. Seasonal and annual throughfall and stemflow in Andean temperate rainforests. **Hydrol. Process.**, West Sussex, v.25, p.623–633, 2011.

PEREZ-MARIN, A.M.; MENEZES, R.S.C. ciclagem de nutrientes via precipitação pluvial total, interna e escoamento pelo tronco em sistema agroflorestal com *Gliricidia sepium*. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v.32, p.2573–2579, 2008.

PINHEIRO, A.; FRANZOI, L.C.; SILVA, M.R. Comportamento Hidrológico em Bacias com Floresta Nativa e Implantada no Município de Caçador, SC. **Rev. Bras. Recur. Hídr.**, Porto Alegre, v.15, n.4, p.81–87, 2010.

PITMAN, J.I. Rainfall interception by bracken in open habitats – relations between leaf area, canopy storage and drainage rate. **J.Hydrol.**, Amsterdam, v.105, p.317–334, 1989.

PUTUHENA, W.M.; CORDERY, I. Estimation of interception capacity of the forest floor. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.180, p.283–299, 1996.

REID, L.M.; LEWIS, J. Rates, timing, and mechanisms of rainfall interception loss in a coastal redwood forest. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.375, p.459–470, 2009.

RIBEIRO, M.C.; METZGER, J.P.; MARTENSEN, A.C.; PONZONI, F.J.; HIROTA, M.M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left,

and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biol. Conserv.**, Amsterdam, v.142, p.1141–1153, 2009.

RODRIGUES, V.A. Redistribuição das chuvas pelas copas de um povoamento de seringueira, José Bonifácio, SP. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v.21, n.1, p.19–26, 2009.

ROMARIZ, D.A. **Aspectos da vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1974.

RUTTER, A.J. Studies in the Water Relations of *Pinus Sylvestris* in Plantation Conditions I. Measurements of Rainfall and Interception. **Journal of Ecology**, v.51, n.1, p.191–203, 1963.

RUTTER, A.J.; KERSHAW, K.A.; ROBINS, P.C.; MORTON, A.J. A predictive model of rainfall interception in forests. 1. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. **Agric. Meteorol.**, v.9, p.367–384, 1971.

SANTA CATARINA. **Atlas de Santa Catarina**. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Subchefia de Estatística, Geografia e Informática. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1986. 173p.

SANTA CATARINA. **Bacias hidrográficas de Santa Catarina: diagnóstico geral**. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Florianópolis: 1997. 163p.

SANTOS, I. **Monitoramento e modelagem de processos hidrogeomorfológicos: Mecanismos de geração de escoamento e conectividade hidrológica**. 2009. 167f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SATO, A.M.; AVELAR, A.S.; COELHO NETTO, A.L. Spatial variability and temporal stability of throughfall in a eucalyptus plantation in the hilly lowlands of southeastern Brazil. **Hydrol. Process.**, West Sussex, v.25, p.1910–1923, 2011.

SAUERESSIG, D. **Sistema de Identificação Dendrológica Online - Floresta Ombrófila Mista**. Disponível em: <http://florestaombrofilamista.com.br>. 2012. Consulta em 20/01/2013.

SAVENIJE, H.H.G. The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. **Hydrol. Process.**, West Sussex, v.18, p.1507–1511, 2004.

SCATENA, F.N. Watershed scale rainfall interception on two forested watersheds in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. *J. Hydrol.*, Amsterdam, v.113, p.89–102, 1990.

SCHROTH, G.; SILVA, L.F. da; TEIXEIRA, W.G.; WOLF, M.-A.; ZECH, W. Distribution of throughfall and stemflow in multi-strata agroforestry, perennial monoculture, fallow and primary forest in central Amazonia, Brazil. **Hydrol. Process.**, West Sussex, v.13, p.1423–1436, 1999.

SCHWIRKOWSKI, P. **Flora de São Bento do Sul**. Disponível em: <https://sites.google.com/site/florasbs>. 2009. Consulta em 20/01/2013.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do Brasil em resumo - 2010**: dados de 2005-2010. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. 152p.

SHEER, M.B. Fluxo de nutrientes pela precipitação pluviométrica em dois trechos de Floresta Ombrófila Densa em Guaraqueçaba, Paraná. **Floresta**, Curitiba, v.39, n.1, p.117–130, 2009.

SHINZATO, E.T.; TONELLO, K.C.; GASPAROTO, E.A.G.; VALENTE, R.O.A. Escoamento pelo tronco em diferentes povoamentos florestais na Floresta Nacional de Ipanema em Iperó, Brasil. **Sci. For.**, Piracicaba, v.39, n.92, p.395–402, 2011.

SINGH, V.P. Interception and depression storage. In: SINGH, V.P. **Elementary Hydrology**. New Jersey: Prentice-Hall, 1992.

SOS Mata Atlântica, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**: Período 2008-2010. São Paulo: 2011. 122p.

SOUSA, R.C.; RANZINI, M.; ARCOVA, F.C.S.; CICCO, V. CÂMARA, C.D. Redistribuição das chuvas em plantio de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae) no Parque Estadual da Serra do Mar, Cunha – SP. **IF Sér. Reg.**, São Paulo, v.40, p.203–208, jul. 2009.

SOUZA, L.C.; MARQUES, R. Fluxo de nutrientes em Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no litoral do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v.40, n.1, p.125–136, 2010.

SOUZA, V.V.; DIAS, H.C.T.; COSTA, A.A.; OLIVEIRA JR., J.C. Análise da qualidade das águas das precipitações em aberto e efetiva em um fragmento secundário da Mata Atlântica, no município de Viçosa, MG. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.31, n.4, p.737–743, 2007.

SUGANUMA, M.S.; TOREZAN, J.M.D.; CAVALHEIRO, A.L.; VANZELA, A.L.L.; BENATO, T. Comparando metodologias para avaliar a cobertura do dossel e a luminosidade no sub-bosque de um reflorestamento e uma floresta madura. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.32, n.2, p.377–385, 2008.

TIMONI, J. L. Alterações nos ciclos naturais: o caso Cubatão. In: Congresso Nacional sobre Essências Nativas, 2, 1992, São Paulo. Anais... **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 4, p. 743–747, 1992.

THOMAZ, E.L. Avaliação de interceptação e precipitação interna em capoeira e floresta secundária em Guarapuava–PR. **Geografia**, Curitiba, v.14, n.1, p.47–60, 2005.

TOBÓN MARIN, C.; BOUTEN, W.; SEVINK, J. Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.237, p.40–57, 2000.

TRES, D.R. **Restauração ecológica de uma mata ciliar em uma fazenda produtora de *Pinus taeda* L. no norte do Estado de Santa Catarina**. 2006. 85f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) -

Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TRES, D.R. **Abordagem sistêmica para restauração da paisagem**. 2010. 297f. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

UBARANA, V.N. Observations and modelling of rainfall interception at two experimental sites in Amazonia. **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Willey, p.151–162, 1996.

UDA, P. K. **Análise de evapotranspiração potencial distribuída por meio de imagens NDVI, na Bacia do Rio Negrinho - SC**. 2010. 84f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

VIEIRA, C.P.; PALMIER, L.R. Medida e Modelagem da Interceptação da Chuva em uma Área Florestada na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. **Rev. Bras. Recur. Híd.**, Porto Alegre, v.11, n.3, p.101–112, 2006.

WMO. **Guide to Hydrological Practices**. Volume I, Hydrology: From Measurement to Hydrological Information. WMO-No. 168. Geneva: World Meteorological Organization, 2008. 6ª ed. 296p.

APÊNDICE A – MEDIDAS E ESTIMATIVAS

As características dos eventos em cada período de monitoramento são apresentadas na Tabela A1. A separação dos eventos é descrita na 3.7. As características foram calculadas a partir dos dados do pluviôgrafo com registro automático de dados a cada 10 minutos (entre 17/12/2011 e 16/03/2012) e a cada 5 minutos (entre 16/03/2012 e 20/12/2012).

Tabela A1. Características dos eventos de chuva externa. (continua)

Período	Evento	<i>Nda</i> ¹	VOLUME	DURAÇÃO	INTENSIDADE	<i>Imáx</i> ²
		dias	mm	h	mm/h	mm/10 min
1	I	≥ 6	23,6	4,0	5,9	14,1
	II	1	9,7	2,0	4,9	2,4
	III	1	35,9	64,0	0,6	5,1
	IV	1	3,6	9,2	0,4	1,9
	V	2	38,1	48,3	0,8	3,4
	VI	1	11,2	6,5	1,7	4,8
	VII	1	2,9	12,2	0,2	1,0
	VIII	1	7,2	33,8	0,2	0,7
2	I	3	60,4	29,5	2,0	9,0
	II	1	12,9	64,3	0,2	1,4
3	I	10	10,3	2,3	4,4	5,5
	II	1	8,5	4,3	2,0	0,7
	III	1	38,3	0,8	45,9	11,5
	IV	1	18,6	67,0	0,3	1,4
4	I	1	8,1	4,0	2,0	1,7
	II	2	4,1	8,2	0,5	1,0
	III	1	5,7	6,5	0,9	1,2
	IV	4	4,3	1,8	2,3	1,2
5	I	6	2,1	16,7	0,1	0,7
	II	1	6,4	5,5	1,2	1,9
	III	1	13,2	20,7	0,6	5,6
	IV	1	1,9	0,2	11,4	1,4
	V	1	6,4	12,0	0,5	1,0
	VI	2	5,6	0,2	33,4	3,4
6	I	15	13,1	12,2	1,1	3,1
7	I	6	17,7	13,5	1,3	5,1
	II	1	2,1	0,9	2,3	1,4
	III	4	3,6	12,5	0,3	1,4

¹ *Nda* é o n° de dias entre o evento e o anterior; ² *Imáx* é a intensidade máxima

Tabela A1. Características dos eventos de chuva externa. (continuação)

Período	Evento	<i>Nda</i> ¹	Volume	Duração	Intensidade	<i>Imáx</i> ²
		dias	mm	h	mm/h	mm/10 min
8	I	9	5,1	4,9	1,0	0,5
	II	3	19,0	1,3	14,2	8,7
9	I	4	9,5	13,3	0,7	5,4
	II	1	7,4	14,0	0,5	1,9
	III	1	14,0	5,4	2,6	1,2
	IV	1	99,1	33,4	3,0	4,3
10	I	1	40,6	12,1	3,4	3,8
	II	4	8,6	28,0	0,3	0,5
	III	1	3,1	9,9	0,3	0,7
11	I	6	6,2	2,8	2,2	0,7
	II	4	10,8	29,3	0,4	0,5
	III	1	4,8	10,5	0,5	0,7
	IV	6	71,8	29,2	2,5	5,9
12	I	5	10,3	38,8	0,3	1,4
	II	2	131,3	73,7	1,8	5,3
	III	4	39,5	19,3	2,0	2,6
13	I	6	39,0	25,8	1,5	4,1
	II	1	3,8	42,8	0,1	0,2
	III	1	10,7	16,4	0,7	2,1
14	I	14	8,8	3,0	2,9	2,6
	II	1	10,3	14,8	0,7	1,4
	III	3	8,3	14,6	0,6	4,1
	IV	1	12,6	9,7	1,3	1,4
15	I	4	45,8	34,6	1,3	5,3
16	I	7	19,1	9,8	2,0	1,4
	II	1	79,5	30,7	2,6	9,0
	III	1	5,2	0,8	7,0	2,2
	IV	1	31,4	49,8	0,6	2,9
18	I	27	5,0	31,3	0,2	0,5
19	I	5	2,2	11,0	0,2	0,2
	II	6	16,7	10,0	1,7	2,4
	III	2	27,2	2,3	12,1	11,1
20	I	6	15,2	16,3	0,9	3,1
	II	1	14,3	7,4	1,9	2,4
	III	4	16,6	9,8	1,7	10,9

¹ *Nda* é o nº de dias entre o evento e o anterior; ² *Imáx* é a intensidade máxima.

Tabela A1. Características dos eventos de chuva externa. (conclusão)

Período	Evento	<i>Nda</i> ¹	VOLUME	DURAÇÃO	INTENSIDADE	<i>Imáx</i> ²
		dias	mm	h	mm/h	mm/10 min
21	I	2	5,5	36,3	0,2	0,5
	II	1	1,2	0,5	2,4	0,7
	III	1	10,2	1,8	5,6	0,0
	IV	2	1,7	9,1	0,2	0,2
22	I	6	42,7	111,3	0,4	1,4
	II	6	1,9	1,0	1,9	0,5
	III	1	64,2	19,4	3,3	5,7
23	I	2	53,7	38,4	1,4	8,8
	II	2	1,2	3,2	0,4	0,2
	III	3	3,4	16,2	0,2	0,7
	IV	4	2,2	1,6	1,4	0,5
	V	1	3,1	8,7	0,4	2,4
24	I	3	20,6	37,3	0,6	3,6
	II	1	15,0	10,7	1,4	8,0
	III	1	39,2	9,6	4,1	18,4
25	I	11	2,4	6,0	0,4	1,2
	II	1	2,4	5,8	0,4	0,9
	III	3	27,7	6,8	4,1	12,7
	IV	2	1,2	0,8	1,4	0,2
	V	2	26,1	14,9	1,7	9,2
	VI	3	5,3	3,4	1,5	1,9
26	I	3	2,2	7,9	0,3	0,7
	II	2	6,7	0,7	10,0	3,1
	III	3	19,3	30,8	0,6	2,8
	IV	4	11,1	16,7	0,7	6,3
	Mínimo	1	1,2	0,2	0,1	0,2
	Máximo	27	131,3	111,3	45,9	18,4
	Amplitude	26	130,1	111,2	45,9	18,1
	Mediana	2	10,3	10,7	1,3	2,1
	Média	3	18,3	17,5	2,8	3,4
	<i>dp</i>³	4	22,8	19,5	6,3	3,6

¹ *Nda* é o nº de dias entre o evento e o anterior; ² *Imáx* é a intensidade máxima; ³ *dp* é o desvio padrão

A Tabela A2 apresenta as medidas de escoamento de tronco (em L), bem como as estimativas de altura de escoamento de tronco (em milímetros) e de proporção de escoamento de tronco em relação à chuva externa (em %).

Tabela A2. Medidas e estimativas de escoamento de tronco. (continua)

Período	P ¹ (mm)	Parcela	Árvore	Sf ² (L)	Sf (mm)	Sf/P (%)
22	109,6	A3	01	8,4	0,13	0,12
			02	8,5	0,23	0,21
			07	2,0	1,69	1,54
			21	4,1	0,23	0,21
			28	10,0	0,23	0,21
		B4	50	0,8	0,02	0,02
			57	2,0	4,66	4,26
			59	6,7	0,17	0,15
			65	–	–	–
			69	–	–	–
23	64,5	A3	01	5,6	0,09	0,13
			02	4,8	0,13	0,20
			07	1,3	1,07	1,67
			21	2,6	0,14	0,22
			28	10,1	0,23	0,36
		B4	50	0,6	0,02	0,03
			57	2,1	5,08	7,88
			59	5,4	0,13	0,21
			65	1,8	0,10	0,15
			69	4,0	0,45	0,70
24	76,7	A3	01	5,9	0,09	0,12
			02	6,9	0,19	0,24
			07	1,1	0,95	1,23
			21	2,6	0,14	0,18
			28	10,1	0,23	0,30
		B4	50	0,8	0,02	0,03
			57	2,0	4,75	6,20
			59	7,4	0,18	0,24
			65	3,1	0,18	0,23
			69	4,3	0,49	0,64

¹ P é a chuva externa

² Sf é o escoamento de tronco

Tabela A2. Medidas e estimativas de escoamento de tronco. P é chuva externa; e Sf é escoamento de tronco. (conclusão)

Período	P^1 (mm)	Parcela	Árvore	Sf^2 (L)	Sf (mm)	Sf (%)
25	66,2	A3	01	–	–	–
			02	3,5	0,09	0,14
			07	0,7	0,59	0,89
			21	–	–	–
			28	4,3	0,10	0,15
		B4	50	0,4	0,01	0,02
			57	1,0	2,42	3,65
			59	1,8	0,05	0,07
			65	1,3	0,07	0,11
			69	2,4	0,28	0,42
26	39,9	A3	01	–	–	–
			02	1,5	0,04	0,10
			07	0,2	0,21	0,53
			21	1,1	0,06	0,16
			28	2,5	0,06	0,14
		B4	50	0,1	0,00	0,01
			57	0,3	0,66	1,65
			59	0,8	0,02	0,05
			65	0,8	0,04	0,11
			69	1,2	0,14	0,35

¹ P é a chuva externa

² Sf é o escoamento de tronco

A Tabela A3 apresenta as medidas de chuva externa e interna e as estimativas de escoamento de tronco e perda por interceptação pela copa na bacia experimental, a cada período monitorado. É importante destacar que os valores de interceptação apresentados envolvem muitas incertezas, por exemplo: erros experimentais nas medidas de chuva interna e escoamento de tronco; erro na estimativa da média de chuva interna de cada período, a partir da medida de cada local; erro da extrapolação das medidas de escoamento de tronco de 2 pontos para toda a bacia; erro da extrapolação das medidas de escoamento de tronco de 2 meses para todo o ano, entre outros. Apesar de todas as incertezas envolvidas na estimativa da interceptação, esses valores dão uma noção da magnitude do processo no tipo de vegetação e clima da área de estudo, que até então não tinha qualquer informação sobre esse processo.

Tabela A3. Chuva externa (*P*), chuva interna (*Tf*), escoamento de tronco (*Sf*) e perdas por interceptação pela copa (*Ic*) na bacia experimental em cada período monitorado. Percentuais em relação à chuva externa. (continua)

Período	<i>P</i> (mm)	<i>Tf</i> ¹ (mm)				Método I				Método II				Método III			
		<i>Tf</i> ¹ (mm)		<i>Tf</i> ¹ (%)		<i>Sf</i> ²		<i>Ic</i> ³		<i>Sf</i> ²		<i>Ic</i> ³		<i>Sf</i> ²		<i>Ic</i> ³	
		<i>me</i> ⁴	<i>dp</i> ⁵	<i>me</i>	<i>dp</i>	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
1	133,8	114,8	16,5	85,8	12,3	1,9	1,4	17,1	12,8	3,6	2,7	15,4	11,5	1,9	1,4	17,1	12,8
2	73,9	66,0	12,2	89,2	16,4	1,9	2,6	6,1	8,2	2,0	2,7	6,0	8,1	1,9	2,6	6,1	8,2
3	76,0	74,4	13,1	98,0	17,2	1,5	2,0	0,0	0,03	1,5	2,0	0,00	0,00	1,5	2,0	0,0	0,0
4	24,2	19,0	5,7	78,4	23,5	1,9	7,8	3,3	13,8	0,7	2,7	4,6	18,9	0,7	2,7	4,6	18,9
5	36,3	26,1	6,9	72,0	19,1	1,9	5,2	8,3	22,8	1,0	2,7	9,2	25,3	1,0	2,7	9,2	25,3
6	13,8	11,3	3,2	81,8	23,4	1,9	13,8	0,6	4,4	0,4	2,7	2,1	15,5	0,4	2,7	2,1	15,5
7	24,8	19,4	5,3	78,0	21,2	1,9	7,7	3,6	14,3	0,7	2,7	4,8	19,3	0,7	2,7	4,8	19,3
8	26,0	20,9	4,3	80,5	16,4	1,9	7,3	3,2	12,2	0,7	2,7	4,4	16,8	0,7	2,7	4,4	16,8
9	132,2	116,8	18,0	88,4	13,6	1,9	1,4	13,4	10,2	3,6	2,7	11,8	8,9	1,9	1,4	13,4	10,2
10	52,6	43,0	10,6	81,8	20,2	1,9	3,6	7,7	14,6	1,4	2,7	8,2	15,5	1,4	2,7	8,2	15,5
11	93,9	77,6	15,1	82,7	16,1	1,9	2,0	14,3	15,3	2,5	2,7	13,7	14,6	1,9	2,0	14,3	15,3
12	182,2	151,6	30,4	83,2	16,7	1,9	1,0	28,7	15,7	4,9	2,7	25,6	14,1	1,9	1,0	28,7	15,7
13	54,1	44,5	8,6	82,3	15,9	1,9	3,5	7,7	14,2	1,5	2,7	8,1	15,0	1,5	2,7	8,1	15,0
14	40,7	34,2	7,2	84,0	17,8	1,9	4,7	4,6	11,3	1,1	2,7	5,4	13,3	1,1	2,7	5,4	13,3
15	45,8	38,3	6,4	83,6	14,1	1,9	4,2	5,6	12,2	1,2	2,7	6,3	13,7	1,2	2,7	6,3	13,7
16	135,7	118,6	19,9	87,4	14,7	1,9	1,4	15,2	11,2	3,7	2,7	13,4	9,9	1,9	1,4	15,2	11,2
18	5,5	4,1	1,8	74,9	32,5	1,9	34,4	0,00	0,0	0,1	2,7	1,2	22,4	0,1	2,7	1,2	22,4

¹ Média dos valores medidos de *Tf* de todos os pontos de monitoramento; ² valores estimados a partir das medidas das parcelas A3 e B4, durante 3 meses; ³ valores estimados; ⁴ *me* é a média; ⁵ *dp* é o desvio padrão.

Tabela A3. Chuva externa (*P*), chuva interna (*Tf*), escoamento de tronco (*Sf*) e perdas por interceptação pela copa (*Ic*) na bacia experimental em cada período monitorado. Percentuais em relação à chuva externa (conclusão).

Período	<i>P</i> (mm)	<i>Tf</i> ¹				Método I				Método II				Método III			
		<i>Tf</i> ¹ (mm)		<i>Tf</i> ¹ (%)		<i>Sf</i> ²		<i>Ic</i> ³		<i>Sf</i> ²		<i>Ic</i> ³		<i>Sf</i> ²		<i>Ic</i> ³	
		<i>me</i> ⁴	<i>dp</i> ⁵	<i>me</i>	<i>dp</i>	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
19	47,0	41,4	7,2	88,1	15,4	1,9	4,0	3,7	7,9	1,3	2,7	4,3	9,2	1,3	2,7	4,3	9,2
20	46,6	41,5	4,6	89,2	10,0	1,9	4,1	3,1	6,7	1,3	2,7	3,8	8,1	1,3	2,7	3,8	8,1
21	19,1	13,8	2,5	72,4	13,3	1,9	10,0	3,4	17,6	0,5	2,7	4,8	24,9	0,5	2,7	4,8	24,9
22	109,6	87,5	20,3	79,8	18,5	1,9	1,7	20,2	18,5	3,0	2,7	19,2	17,5	1,9	1,7	20,2	18,5
23	64,5	52,7	10,3	81,7	16,0	1,9	2,9	9,9	15,4	1,7	2,7	10,1	15,6	1,7	2,7	10,1	15,6
24	76,7	65,5	7,3	85,4	9,5	1,9	2,5	9,3	12,1	2,1	2,7	9,1	11,9	1,9	2,5	9,3	12,1
25	66,2	55,5	8,7	83,9	13,2	1,9	2,9	8,8	13,2	1,8	2,7	8,9	13,4	1,8	2,7	8,9	13,4
26	39,9	28,5	4,0	71,4	10,0	1,9	4,8	9,5	23,8	1,1	2,7	10,3	25,9	1,1	2,7	10,3	25,9

¹ Média dos valores medidos de *Tf* de todos os pontos de monitoramento; ² valores estimados a partir das medidas das parcelas A3 e B4, durante 3 meses; ³ valores estimados; ⁴ *me* é a média; ⁵ *dp* é o desvio padrão.

APÊNDICE B – ADVERSIDADES DO MONITORAMENTO EM CAMPO

Durante a realização deste trabalho, foram frequentes adversidades com os equipamentos instalados em campo, que ocasionaram perdas de dados significativas. Muitas dessas adversidades são inevitáveis devido ao ambiente onde o trabalho foi realizado: floresta densa, rica em fauna e flora. Entretanto, em algumas delas foi possível reduzir a frequência de ocorrência. Alguns exemplos dos problemas enfrentados com o trabalho de monitoramento em campo neste trabalho são apresentados a seguir.

- Transbordamento de pluviômetros. No início do trabalho não se imaginava que a chuva interna superaria a chuva externa, então os primeiros pluviômetros instalados foram insuficientes para armazenar a chuva interna em períodos com muita chuva. Mas mudar os pluviômetros no meio do trabalho poderia adicionar um erro sistemático nos dados. A solução foi substituir o modelo da Figura B1a pelo modelo da Figura B1b. Dessa maneira, a capacidade dos pluviômetros aumentou, mas o funil de coleta continuou o mesmo.
- Entupimento de pluviômetros por folhas, galhos e/ou pequenos animais (Figura B2a). A água acumulada no funil fica exposta à evaporação.
- Tombamento de pluviômetros durante enxurrada ou ocasionado por animais de médio a grande porte (Figura B2b). Neste trabalho, a substituição da fixação dos pluviômetros em um só apoio (Figura B1a) para três apoios (Figura B1b) mitigou o problema. A companhia de um “mateiro” conhecedor da área durante a instalação poderia ser útil no reconhecimento de trilhas de animais, onde a instalação de equipamentos deveria ser evitada.
- Entupimento dos colares coletores de escoamento de tronco por exsudação das árvores e por pequenos animais. Algumas vezes os colares de escoamento de tronco ficaram completamente obstruídos por inúmeras taturanas que ali se abrigaram. Outras, a exsudação da árvore obstruiu completamente o fluxo de água pelos colares (Figura B2c).



(a)



(b)

Figura B1. Pluviômetros utilizados neste trabalho: (a) primeira versão; (b) última versão.



(a)



(b)



(c)

Figura B2. Exemplos de problemas frequentes no monitoramento: (a) pluviômetro entupido; (b) pluviômetro caído; (c) espiral coletor de escoamento de tronco obstruído pela exsudação da árvore.

