



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

JOÃO HENRIQUE MACEDO SÁ

**A INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO PROCESSO DE INTERCEPTAÇÃO DA  
CHUVA EM FLORESTA DE MATA ATLÂNTICA**

Florianópolis  
2019



João Henrique Macedo Sá

**A INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO PROCESSO DE INTERCEPTAÇÃO DA  
CHUVA EM FLORESTA DE MATA ATLÂNTICA**

Tese submetida ao Programa de Pós-graduação Em  
Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do título de doutor em  
Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Pedro Luiz Borges Chaffe, Dr.

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra

Sá, João Henrique Macedo  
A INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO PROCESSO DE INTERCEPTAÇÃO  
DA CHUVA EM FLORESTA DE MATA ATLÂNTICA / João Henrique  
Macedo Sá ; orientador, Pedro Luiz Borges Chaffe, 2019.  
144 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia Ambiental. 2. Monitoramento. 3. Mata  
Atlântica. 4. Interceptação de chuva . I. Chaffe, Pedro Luiz  
Borges . II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. III.  
Título.

João Henrique Macedo Sá

**A INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO PROCESSO DE INTERCEPTAÇÃO  
DA CHUVA EM FLORESTA DE MATA ATLÂNTICA**

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Aline de Almeida Mota, Dr.(a)  
Universidade Federal da Fronteira Sul

Prof. Fernando Grison, Dr.  
Universidade Federal da Fronteira Sul

Prof. Leonardo Hoinaski, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Davide Franco, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de doutor em Engenharia Ambiental.

---

Prof.(a) Maria Eliza Nagel Hassemer, Dr.(a)  
Coordenador(a) do Programa

---

Prof. Pedro Luiz Borges Chaffe, Dr.  
Orientador(a)

Florianópolis, 28 de junho de 2019.

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de laboratório (Labhidro) e aos meus queridos familiares.

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Pedro Chaffe, pela paciência, orientação e dedicação ao longo desses 7 anos que estou no Laboratório de Hidrologia.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina pela oportunidade de realizar o doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por ter financiado a pesquisa através de bolsa.

Aos meus pais João Sá e Valquíria Macedo e meus irmãos João Daniel e Ana Laura, se sou o que sou, devo a eles que dedicaram muito de suas vidas à minha formação profissional e como pessoa.

Ao Professor Davide Franco, que sempre foi minha banca na pós-graduação e me ajudou muito para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos Professores Leonardo Hoinaski, Aline Mota e Fernando Grison, pelo tempo dispensado como banca deste trabalho e pela contribuição na melhoria da qualidade do mesmo.

Aos colegas e amigos do LabHidro da UFSC, Pablo Amorim, Tassia Brighenti, Alondra Perez, Camyla Santos, Daniel Bartilo, Vinícius Chagas, Tomas Carlotto, José Souza, Maria Pereima, Paula David, Alena Bevacqua, Gabriel Anzolin, Júlia Massing, Leonardo Steiner, Pedro Arienti, Debora Oliveira, Gustavo Speckhann e Roberto Goerl.

Aos meus grandes amigos Davi Sales e Jason Brochado que sempre torceram por mim.

A todos que me auxiliaram a cumprir mais essa etapa dessa aventura chamada vida.

“A natureza é o único livro que oferece um  
conteúdo valioso em todas as suas folhas”  
(Johann Wolfgang von Goethe, 1749-1832)



## RESUMO

A interceptação da chuva é o processo pelo qual a precipitação que cai sobre a superfície do terreno fica retida na copa, e é redistribuída ao solo ou evapora posteriormente. Esse processo é importante especialmente em áreas florestais, pois influencia na reciclagem da umidade do ar (quantidade de água que evapotranspira da superfície) e na quantidade de água que efetivamente chega solo. A maioria dos estudos de interceptação nas florestas brasileiras foi feita na região Amazônica e Mata Atlântica, mas poucos foram os estudos sobre a influência da vegetação na distribuição da água que chega no solo. O objetivo dessa tese é compreender o processo de interceptação em área coberta por Mata Atlântica (Floresta Ombrófila Mista e Densa), por meio de monitoramento hidrológico. Os objetivos específicos são: (i) Quantificar e caracterizar a distribuição espacial e temporal da chuva interna em uma parcela coberta por Floresta Ombrófila Mista; (ii) Verificar as características da estrutura das árvores que influenciam na chuva interna e no escoamento pelo tronco em duas parcelas coberta por Floresta Ombrófila Densa; (iii) Analisar a variação do processo de interceptação da copa durante o evento de precipitação. O monitoramento foi realizado em 4 parcelas experimentais diferentes, sendo duas parcelas localizadas em Floresta Ombrófila Mista (Bacia Araponga) e 2 parcelas localizadas em Floresta Ombrófila Densa (Bacia Lagoa do Peri). O processo de interceptação exerceu influência na quantidade de água da chuva que chegou no solo. A chuva interna e o escoamento pelo tronco nas parcelas monitoradas demonstraram ser bastante heterogêneos e que estão relacionados com as características dos eventos de precipitação e da vegetação. Também foi evidente que a distribuição espacial dos índices de cobertura da vegetação é heterogênea e não apresentam nenhuma correlação com a chuva interna. A persistência no tempo da chuva interna demonstrou que a vegetação pode desempenhar um papel importante na sua redistribuição no espaço nesta floresta. A estrutura da árvore interferiu no volume distribuído do escoamento pelo tronco e da chuva interna. As características da chuva influenciam na dinâmica do processo de interceptação. Foi possível verificar que a capacidade de armazenamento da copa é parcialmente restaurada várias vezes durante um evento de precipitação.

**Palavras-Chave** – Monitoramento; Mata Atlântica; Interceptação de chuva; estrutura da floresta; dinâmica do processo.



## ABSTRACT

Rainfall interception is the process by which precipitation that falls on the surface of the ground is trapped in the canopy, redistributed to the soil or evaporated later. This process is especially important in forest areas because it influences the recycling of air humidity (amount of water that evaporates from the surface) and the amount of water that reaches the soil. Most interception studies in Brazilian forests were conducted in the Amazon and Atlantic Forest regions, but there were few studies on vegetation's influence on the distribution of water reaching the soil. The objective of this thesis is to understand the process of rainfall interception in an area covered by Atlantic Forest (Mixed and Dense Ombrophilous Forest) through hydrological monitoring. The specific objectives are: (i) To quantify and characterize the spatial and temporal distribution of the throughfall in plot covered by Mixed Ombrophilous Forest; (ii) Verify the structure characteristics of the trees that influence the throughfall and stemflow in two plots covered by Dense Ombrophylous Forest; (iii) Analyze the variation of the canopy interception process during the precipitation event.. Monitoring was carried out in 4 different experimental plots, two plots located in Mixed Ombrophilous Forest (Araponga) and 2 plots located in Dense Ombrophilous Forest (Lagoa do Peri). The interception process influenced the amount of water that reached the soil. Throughfall and stemflow in the monitored plots showed that both are very heterogeneous and related to the events between the gross precipitation and the vegetation characteristics. It was also evident that the spatial distribution of canopy cover indices is heterogeneous and have no correlation with throughfall. Time stability of throughfall has shown that vegetation can play an important role in redistributing space in this forest. The tree structure interfered with the distributed volume of stemflow and throughfall. The characteristics of the gross precipitation influence the dynamics of the interception process. It was possible to verify that the canopy storage capacity is partially restored several times during a rainfall event.

**Keywords** - Monitoring; Rainfall interception; forest structure; process dynamics; Atlantic forest.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 2-1 Ilustração simplificada do processo de interceptação. (a) Condição inicial seca da vegetação. (b) Quando ocorre um evento de chuva, parte da precipitação total ( $P_g$ ) é retida na vegetação. A precipitação que não é interceptada passa ao solo e serapilheira como chuva interna ( $T_f$ ). A água acumulada no tronco pode superar seu armazenamento e se mover ao solo como escoamento pelo tronco ( $S_f$ ). (c) A água armazenada na vegetação volta à atmosfera por evaporação ( $E_i$ ). ..... 5
- Figura 3-1 Localização das bacias experimentais (Parcela Araponga e Parcela Peri). Estado de Santa Catarina e localização das bacias monitoradas (esquerda superior). Bacia hidrográfica Arapongas (esquerda inferior). Bacia hidrográfica da lagoa do Peri (direita inferior). ..... 15
- Figura 3-2 Exemplo da separação dos dados pluviométricos por eventos e períodos. .... 16
- Figura 3-3 Monitoramento da Chuva externa: (a) Pluviógrafo e pluviômetro na bacia da Araponga; (b) exemplo do Pluviômetro; (c) Pluviógrafo no viveiro da Fundação Municipal do Meio Ambiente de Florianópolis (FLORAM); (d) Pluviógrafo e pluviômetro na Casa de Retiros Vila Fátima. .... 18
- Figura 3-4 Monitoramento da chuva interna na bacia da Araponga: (a) calha ligada ao pluviógrafo; (b) garrafas ligada ao pluviógrafo; (c) pluviômetro e (d) pluviômetro próximo do tensiômetro. .... 19
- Figura 3-5 Configuração da distribuição espacial dos pluviômetros de chuva interna nas parcelas da bacia da araponga. Os círculos pretos preenchidos representam os medidores feitos à mão, os círculos vazios representam os troncos como DAP, as linhas contínuas representam as calhas e os polígonos representam a projeção da copa das árvores. .... 20
- Figura 3-6 Monitoramento da chuva interna da Parcela Peri 1: (a) Calha ligada ao pluviógrafo; (b) Calha ligada ao galão de 30 litros; (c) Pluviômetro e (d) Pluviômetros distribuídos na Parcela. .... 21
- Figura 3-7 Monitoramento da chuva interna na Parcela Peri 2: (a) Calha ligada ao pluviógrafo; (b) Calha ligada ao galão de 30 litros; (c) Pluviômetro e (d) Pluviômetros distribuídos na Parcela ..... 22
- Figura 3-8 Configuração da distribuição espacial dos pluviômetros de chuva interna nas parcelas da bacia da Lagoa do Peri. Os círculos pretos preenchidos representam os medidores feitos à mão, os círculos vazios representam os troncos como DAP, as linhas contínuas representam as calhas, em vermelho o automático e os polígonos representam a projeção da copa das árvores. .... 22

Figura 3-9 Monitoramento do escoamento pelo tronco na Bacia Araponga: (a) recipiente de armazenamento cheio; (b) recipiente de armazenamento; (c) coletor do tipo espiral; e (d) ligação das árvores para o pluviógrafo. ....	24
Figura 3-10 Escoamento pelo tronco. (a) Coletor ligado ao pluviógrafo; (b) Coletor do escoamento pelo tronco; (c) Armazenamento dos troncos menores e (d) Armazenamento dos troncos com maior volume. ....	26
Figura 3-11 Monitoramento do escoamento pelo tronco da parcela Peri 1, troncos de 1 a 18.28	
Figura 3-12 Monitoramento do escoamento pelo tronco da parcela Peri 2 troncos de 19 a 3829	
Figura 3-13 Distribuição das árvores de acordo com o diâmetro à altura do peito (DAP) e das árvores monitoradas do escoamento pelo tronco.(a) Bacia da Araponga e; (b) Bacia Lagoa do Peri. ....	30
Figura 3-14 Cronograma do monitoramento dos parâmetros de interceptação. Barra preenchida significa que ocorreu o monitoramento; Barra com hachurado em vermelho representa falha no monitoramento. A linha tracejada com ponto divide o monitoramento da araponga com a da lagoa do Peri. ....	31
Figura 3-15 Fotografia do dossel. (a) Instalação da câmera na plataforma entre a vegetação. (b) Detalhe da câmera na plataforma nivelada. (c) Exemplos da foto do dossel. (d) Imagem binária correspondente a foto do dossel em (c).....	32
Figura 3-16 Caracterização da estrutura da árvore: (a) croqui do procedimento de dados; (b) instalação da estação total na parcela 2 (c) tirando pontos da árvore; (d) exemplo de pontos tirados de uma árvore. ....	35
Figura 3-17 Caracterização da estrutura da árvore: (a) exemplo de pontos tirados de uma árvore; (b) exemplo dos cálculos das variáveis das estruturas. Os polígonos verdes representam a projeção da copa ( $A_{copa}$ ). As linhas marrons representam os troncos das árvores.....	36
Figura 3-18 Diagrama da estrutura da árvore da Peri 1. Os polígonos verdes representam a projeção da copa (PCA). As linhas marrons representam os galhos e tronco das arvores. Os círculos pretos numerados são os pluviômetros e os círculos maiores não numerados são os troncos. ....	36
Figura 3-19 Diagrama da estrutura da árvore da Peri 2. Os polígonos verdes representam a projeção da copa (PCA). As linhas marrons representam os galhos e tronco das arvores. Os círculos pretos numerados são os pluviômetros e os círculos maiores não numerados são os troncos. ....	37

Figura 3-20 Características de um gráfico de estabilidade temporal. Os pontos de amostragem são classificados da média mínima à máxima. As barras indicam intervalos de confiança de 95%. Os pontos de dados pertencentes ao quartil inferior ou superior são considerados extremos, desde que seus intervalos de confiança não se sobreponham à linha mediana. Os pontos de dados que se enquadram no intervalo interquartil, mas com intervalos de confiança que não incluem a mediana são considerados geralmente persistentes, enquanto aqueles com intervalos de confiança que incluem a mediana não são persistentes. ....	40
Figura 4-1 Histograma da chuva externa na bacia lagoa do Peri: (a) Parcela 1; (b) Parcela 2.	42
Figura 4-2 Comparação entre os coletores de chuva externa das duas parcelas de monitoramento. A linha contínua em preto representa a relação 1:1. ....	42
Figura 4-3 Comparação entre os coletores de chuva interna das duas parcelas de monitoramento. (a) Calha 1 da Parcela 1; (b) Calha 2 da Parcela 1; (c) Calha 1 da Parcela 2. ....	43
Figura 4-4 Comparação entre os coletores de escoamento pelo tronco da Peri 1, entre o volume coletado pelo pluviógrafo com volume do armazenamento. ....	44
Figura 4-5 Relação entre chuva interna e chuva externa para o cálculo da $Sc$ e $p$ das parcelas: (a) Peri 1; (b) Peri 2. ....	47
Figura 4-6 Relação entre o escoamento pelo tronco com a chuva externa e chuva interna descontada da precipitação na parte descoberta; (a) e (c) Parcela Peri 1; (b) e (d) Parcela Peri 2. ....	48
Figura 4-7 Índice de cobertura do dossel na lagoa do Peri: (a) variação entre as parcelas e; (b) variação entre os pontos de cada parcela. ....	50
Figura 4-8 Variação no tempo do índice de cobertura do dossel. ....	51
Figura 4-9 Relação do índice de cobertura do dossel com os parâmetros calculados utilizando a relação entre $Tf$ e $Pg$ ( $c$ e $Sc$ ). ....	51
Figura 4-10 Dados mensais de precipitação bruta de novembro de 2013 a dezembro de 2014. Os círculos sólidos representam a média climatológica e as linhas verticais são o desvio padrão para o período de 1975 a 2010. ....	52
Figura 4-11 Análise da chuva interna. Relação de chuva interna ( $Tf$ ) (média $\pm$ desvio padrão) e chuva externa ( $Pg$ ) expressa como (a) precipitação total do evento e (c) $Tf$ relativa. Variação temporal da precipitação média expressa como (b) chuva externa do período e (d) chuva interna. O tamanho dos pontos é proporcional a $Pg$ . As cores variáveis de azul claro a escuro indicamos os valores de intensidade máxima de 5 min ( $I_{5max}$ ). As linhas tracejadas correspondem a $Tf = 100\%$ de $Pg$ e as linhas vermelhas indicam a média $Tf$ (para todo o período de 13 meses). ....	54

- Figura 4-12 Estabilidade temporal e variabilidade espacial da chuva interna na parcela 2. Apenas os períodos com medições de chuva interna de todos os 28 pluviômetros foram considerados. (a) Coeficiente de variação da precipitação média estimada usando todas as combinações dos pluviômetros de Tf. Cada linha representa um período de medição. A inserção exibe o coeficiente de variação das medições de chuva interna em relação à chuva externa. (b) Gráfico de estabilidade de tempo do desvio normalizado para média zero e variância unitária. O caudal médio normalizado significativamente inferior a zero é mostrado em vermelho (Tf secos) e os caudais normalizados médios significativamente superior a zero são mostrados em azul (Tf úmidos). ..... 55
- Figura 4-13 Variabilidade espacial da chuva interna relativa no período de 08 de maio a 16 de dezembro de 2014. Os círculos indicam a posição dos pluviômetros de Tf. No painel inferior esquerdo, o tamanho dos pontos é proporcional à variação de desvio padrão. Os períodos são organizados em ordem crescente de precipitação bruta total (Pg). Apenas os períodos com medições de chuva interna de passagem de todos os 28 pluviômetros de Tf foram considerados. .... 56
- Figura 4-14 Variação espacial e temporal dos índices de cobertura do dossel. (a) Variação do CCF entre os períodos para cada pluviômetro de Tf. CCF para cada período foi considerado como a média entre o CCF estimado usando círculos extraídos das fotografias digitais com raio variando entre 10 e 25% da diagonal. (b) variação do CCF ao longo do ano. Os círculos sólidos e as linhas verticais são a média e o erro padrão. (c) Variação do LAI entre os períodos para cada pluviômetro de Tf. O LAI para cada período foi considerado como a média entre o LAI estimado utilizando círculos extraídos das fotografias digitais com raio variando entre 10 e 25% da diagonal. (d) Variação do LAI ao longo do ano. Os círculos sólidos e as linhas verticais são a média e o erro padrão. .... 57
- Figura 4-15 Relações entre os parâmetros da copa das árvores: (a) Sc e CCF; (b) Sc e LAI; (c) p e CCF e; (d) p e LAI. .... 58
- Figura 4-16 Análise da relação entre a chuva interna relativa (Tf) e os índices de cobertura do dossel: (a) e (d) todos os períodos; (b) e (e) períodos com precipitação bruta (Pg) <60 mm; (c) e (f) períodos com precipitação bruta > 60 mm. .... 59
- Figura 4-17 Número de copas sobrepostas e distribuição espacial da chuva interna (Tf) para o período entre 15 de abril e 16 de dezembro de 2014. Os círculos representam a posição dos medidores de Tf. Pg é a chuva externa. (a) Número de copas sobrepostas para a área circular (raio de 3 m). (b) Distribuição espacial da capacidade de armazenamento do dossel



(Sc). Distribuição espacial da proporção da chuva interna (Tf) para todos os períodos com (c) $P_g < 60$ mm e (d) $P_g > 60$ mm. Relação entre o número de copas sobrepostas e a chuva interna relativa em todos os períodos com (e) $P_g < 60$ mm e (f) $P_g > 60$ mm. Apenas os pluviômetros de Tf dentro da área circular foram considerados nesta análise, uma vez que a área projetada da copa foi estimada para as árvores cujas copas estavam total ou parcialmente dentro dessa área delimitada. ....	60
Figura 4-18 Relação entre o desvio padrão da chuva interna normalizada e a cobertura da copa em cada pluviômetro de Tf, representado por (a) o CCF (CCF médio para cada pluviômetro de Tf); (b) o LAI (tempo médio de LAI para cada pluviômetro de Tf) e (c) o número de copas sobrepostas acima de cada pluviômetro de Tf (apenas pluviômetros de Tf dentro da área circular de 28 m <sup>2</sup> foram considerados neste caso, uma vez que a área projetada da coroa foram estimados para árvores cujos dosséis estavam total ou parcialmente dentro dessa área delimitada).....	61
Figura 4-19 Volume da chuva externa (Pg), chuva interna (Tf) e escoamento pelo tronco (Sf) registrado em cada período monitorado. (a) Peri 1 e (b) Peri 2.....	63
Figura 4-20 Relação da chuva interna e escoamento pelo tronco com a chuva externa: (a) chuva interna com a chuva externa; e (b) escoamento pelo tronco com a chuva externa; (c) proporção da chuva interna com a chuva externa; e (d) proporção do escoamento pelo tronco com a chuva externa. ....	64
Figura D-4-21 Relação da estrutura da árvore com o volume do escoamento pelo tronco.....	66
Figura 4-22 Variação temporal da chuva interna média; (a) variação de cada ponto da Peri 1; (b) variação de cada ponto da Peri 2; (c) Variação da proporção da chuva interna da Peri 1; (d) Variação da proporção da chuva interna da Peri 2. O tamanho dos pontos é proporcional a $P_g$ . As linhas tracejadas correspondem a $T_f = 100\%$ de $P_g$ e as linhas vermelhas indicam a média $T_f$ (para todo os períodos).....	67
Figura 4-23 Variabilidade espacial da chuva interna nas parcelas da Lagoa do Peri. Gráfico de estabilidade de tempo do desvio normalizado para média zero e variância unitária (a) Peri 1 e (b) Peri 2. ....	68
Figura 4-24 Variabilidade espacial da chuva interna relativa da parcela Peri 1. (a) Distribuição espacial da chuva interna com diferentes classes de chuva externa ( $P_g$ ). Os pontos indicam a posição dos pluviômetros de Tf. (b) Número de copas sobreposta. (c) Os círculos indicam a posição dos pluviômetros de Tf, o tamanho dos pontos é proporcional à variação de desvio padrão. ....	69

Figura 4-25 Variabilidade espacial da chuva interna relativa da parcela Peri 1. (a) Distribuição espacial da chuva interna com diferentes classes de chuva externa (Pg). Os pontos indicam a posição dos pluviômetros de Tf. (b) Número de copas sobreposta. (c) Os círculos indicam a posição dos pluviômetros de Tf, o tamanho dos pontos é proporcional à variação de desvio padrão. ....	70
Figura 4-26 Relação entre a proporção da chuva interna com o número de galhos sobreposto. Variando entre as classes de chuva externa. Os círculos preenchidos e a linha contínua representam os valores da parcela Peri 1. Os círculos vazios e a linha tracejadas representam os valores da parcela Peri 2. ....	71
Figura 4-27 Relação entre a variabilidade da chuva interna com o número de galhos sobreposto. Variando entre as classes de chuva externa. Os círculos preenchidos e a linha continua representam os valores da parcela Peri 1. Os círculos vazios e a linha tracejadas representam os valores da parcela Peri 2. ....	72
Figura 4-28 Relação entre a proporção da chuva interna com o número de copa sobreposta. Variando entre as classes de chuva externa. ....	73
Figura 4-29 Relação entre a normalização da chuva interna com o número de copas sobreposto. Variando entre as classes de chuva externa. ....	74
Figura 4-30 Volume totais por evento da chuva interna (Tf), escoamento pelos troncos (Sf) e perda por interceptação da copa (Ic). As linhas representam a média.....	76
Figura 4-31 Variação da chuva interna, do escoamento pelos troncos e da interceptação com a chuva externa durante o evento de 18,3 mm com duração de 12 horas. (a) Distribuição dos eventos da chuva, sendo que o evento selecionado está apresentado em vermelho. (b) Variação da intensidade da Tf e Sf com a intensidade da chuva externa durante o evento. (c) Relação do acumulado de Tf/Pg, Sf/Pg e Ic/Pg ao longo do tempo. (d) Relação do acumulado da Tf, Sf e Ic com o acumulado de Pg.....	77
Figura 4-32 Variação da chuva interna e escoamento pelo tronco com a chuva externa durante o evento de 16,2 mm com duração de 32 horas (a) Distribuição dos eventos da chuva. (b) Variação da intensidade da Tf, Sf e Ic com a intensidade da chuva externa, durante o evento. (c) Relação do acumulado de Tf/Pg, Sf/Pg e Ic/Pg ao longo do tempo. (d) Relação do acumulado da Tf, Sf e Ic com o acumulado de Pg.....	78
Figura 4-33 Variação da chuva interna e escoamento pelo tronco com a chuva externa durante o evento de 89,2 mm com duração de 37 horas. (a) Distribuição dos eventos da chuva. (b) Variação da intensidade da Tf, Sf e Ic com a intensidade da chuva externa, durante o	

evento. (c) Relação do acumulado de Tf/Pg, Sf/Pg e Ic/Pg ao longo do tempo. (d) Relação do acumulado da Tf, Sf e Ic com o acumulado de Pg. ....	79
Figura B-1 Equipamentos utilizados para medição do volume do processo de interceptação. (a) Proveta de 10 ml; (b) Proveta de 250 ml; (c) Proveta de 1000 ml; (d) Balde volumétrico de 7 litros; (d) Balança eletrônica de 50 kilos .....	103
Figura B-2 Fotografia das copas e a representação de cada círculo.....	104
Figura C-3 Série temporal da chuva externa: (a) chuva externa da parcela Peri 1; e (b) chuva externa da parcela Peri 2.....	105
Figura C-4 Série temporal do monitoramento automático da chuva interna: (a) Calha da parcela P <sub>Peri 2</sub> ; (b) Calha n° 1 da parcela P <sub>Peri 1</sub> ; e (c) Calha n° 2 da parcela P <sub>Peri 1</sub> .....	105
Figura C-5 Série temporal do monitoramento automático do escoamento pelo tronco: (a) árvore 1; (b) árvore 8; e (c) árvore 9.....	106
Figura D-6 Agrupamento dos parâmetros da estrutura da árvore; (a) e (b) estrutura das árvores e; (c) e (d) volume do escoamento pelo tronco. ....	107
Figura D-7 – Relação entre o volume do escoamento pelo tronco (litros) com a chuva externa para cada árvore.....	108
Figura D-8 Relação entre o volume do escoamento pelo tronco pela chuva externa da parcela Per 1, troncos de 1 a 18. ....	109
Figura D-9 Relação entre o volume do escoamento pelo tronco pela chuva externa da parcela Per 2 troncos de 19 a 38 .....	110
Figura E-10 Relação entre a chuva externa (Pg) e chuva interna nos nove pontos distribuídos pela bacia da araponga.....	111
Figura E-11 Relação entre a chuva externa e a chuva interna da bacia Araponga. O gráfico inferior mostra a relação entre a chuva externa e a chuva interna para eventos abaixo do ponto de inflexão (Pg<5mm .....	112
Figura E-12 Relação entre a chuva externa e a chuva interna para o cálculo da capacidade de armazenamento da copa para a primeira metade dos pluviômetros da parcela Peri 1. ...	113
Figura E-13 Relação entre a chuva externa e a chuva interna para o cálculo da capacidade de armazenamento da copa para a primeira metade dos pluviômetros da parcela Peri 1. ...	114
Figura F-14 Problemas com pluviômetros: (a) caminho preferencial da chuva; (b) pluviômetro com armazenamento de 10 litros; (c) pluviômetro com folhas e (d) pluviômetro entupido. ....	115
Figura F-15 Problema com escoamento pelo tronco; (a) e (b) entupimento dos colares; (c) e (d) manutenção dos colares de escoamento pelo tronco. ....	116

Figura F-16 Armazenamento do escoamento pelo tronco; (a) 10 litros; (b) 2 garrafas de 10 litros conectados em série; (c) 2 garrafas de 10 conectados em paralelo; e (d) galão de 50 litros. .... 117

Figura F-17 Árvores caídas por causa do ciclone subtropical e destruindo a parcela de monitoramento. .... 118

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 Visão geral das diferentes configurações do monitoramento da chuva interna e os períodos de medição. ....	16
Tabela 3-2 Características das árvores e coletores para medição de escoamento pelo tronco .	25
Tabela 3-3 Identificação das espécies encontradas nas parcelas do Peri. ....	27
Tabela 3-4 Descrição dos parâmetros da árvore.....	39
Tabela 4-1 Comparação entre os valores da capacidade de armazenamento do dossel (Sc) e do coeficiente de queda livre (p) anteriormente relatados na literatura para florestas no Brasil e os encontrados neste estudo. ....	49
Tabela 4-2 Caracterização das parcelas de monitoramento.....	62
Tabela 4-3 Matriz de correlação de Spearman entre o volume do escoamento pelo tronco com as estruturas das árvores. Diagonal de cima representa a Peri 1 e a diagonal de baixo representa a Peri 2. Os valores que estão em negrito indicam que os pares das variáveis têm correlação significativa ( $p < 0,05$ ). ....	65
Tabela A-1 Características dos períodos de chuva com as respectivas durações.....	95
Tabela A-2 Monitoramento de chuva externa (Pg), chuva interna (Tf) e escoamento pelo tronco (Sf) nas parcelas da Lagoa do Peri. ....	98



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unidade</b>
<i>a</i>	Coeficiente angular de regressão	-
<i>A<sub>copa</sub></i>	Área da projeção da copa	m <sup>2</sup>
<i>A<sub>galhos</sub></i>	Área da projeção dos galhos	m <sup>2</sup>
<i>A<sub>basal</sub></i>	Área basal dos troncos	cm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup>
<i>AIF</i>	Ângulo de interseção da primeira bifurcação	°
<i>b</i>	Coeficiente linear de regressão	mm
<i>c</i>	Proporção de cobertura florestal	-
<i>CV<sub>comb</sub></i>	Coeficiente de variação da média de <i>Tf</i>	-
<i>C<sub>Copa</sub></i>	Circunferência da copa	m
<i>C<sub>Tronco</sub></i>	Comprimento do tronco principal	m
<i>C<sub>galhos</sub></i>	Comprimento dos galhos	m
<i>CCF</i>	Índice de Cobertura do Dossel	%
<i>Hic</i>	Altura da primeira bifurcação	m
<i>D<sub>copa</sub></i>	Diâmetro da copa	m
<i>DAP</i>	Diâmetro na altura do peito	cm <sup>2</sup>
<i>e</i>	Erro relativo para o conjunto de parâmetros	-
<i>F<sub>Pevento</sub></i>	Proporção do total de chuva externa do evento	%
<i>H</i>	Altura da árvore	m
<i>HWR</i>	Relação altura/largura da copa	-
<i>I</i>	Perda por interceptação	mm
<i>I%</i>	Interceptação relativa à total chuva externa	%
<i>I<sub>c</sub></i>	Interceptação da copa	mm
<i>I<sub>f</sub></i>	Interceptação do chão da floresta	mm
<i>I<sub>ti</sub></i>	Interceptação no tempo <i>i</i>	mm
<i>I<sub>5max</sub></i>	Intensidade máxima de chuva de 5 min	mm5min <sup>-1</sup>
<i>I<sub>máx</sub></i>	Intensidade máxima de chuva do período	mm h <sup>-1</sup>
<i>LAI</i>	Índice da Área Foliar (do inglês <i>Leaf Area Index</i> )	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
<i>Lc</i>	Altura da copa	m
<i>Lb</i>	Altura dos galhos	m
<i>Nb</i>	Número de pixels brancos	-

---

<b><i>Nda</i></b>	Número de dias entre um evento e o anterior	-
<b><i>Nds</i></b>	Número de dias sem chuva do período	-
<b><i>Np</i></b>	Número de pixels preto	-
<b><i>PBc</i></b>	Número de galhos primários	-
<b><i>Pluv</i></b>	Pluviômetros	-
<b><i>p</i></b>	Coefficiente livre de chuva interna	-
<b><i>p<sub>t</sub></i></b>	Coefficiente de escoamento pelo tronco	-
<b><i>Pg</i></b>	Chuva externa	mm
<b><i>R<sup>2</sup></i></b>	Coefficiente de determinação	-
<b><i>SBc</i></b>	Número de bifurcações	-
<b><i>S.E</i></b>	Erro padrão	-
<b><i>S<sub>c</sub></i></b>	Capacidade de armazenamento por unidade de cobertura	mm
<b><i>Sf</i></b>	Escoamento pelo tronco (do inglês <i>stemflow</i> )	mm
<b><i>Sf<sub>L</sub></i></b>	Volume de escoamento pelo tronco da árvore	litro
<b><i>Sf<sub>FR</sub></i></b>	Taxa de afunilamento do escoamento pelo tronco	-
<b><i>S<sub>t</sub></i></b>	Capacidade de armazenamento do tronco	mm
<b><i>t</i></b>	Tempo	h
<b><i>t'</i></b>	Tempo de saturação da copa	h
<b><i>Tf</i></b>	Chuva interna (do inglês <i>throughfall</i> )	mm
<b><i>TBc</i></b>	Número total de galhos	-
<b><i>TMI</i></b>	Tempo mínimo inter-evento	hora
<b><i>V<sub>copa</sub></i></b>	Volume da copa	m <sup>3</sup>
<b><i>V<sub>Tronco</sub></i></b>	Volume do tronco	m <sup>3</sup>
<b><i>δ</i></b>	Padrões de estabilidade temporal e espacial	-

---



## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>v</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>xix</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	<b>xxi</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 <i>Objetivo geral</i> .....	3
1.2 <i>Objetivos Específicos e hipóteses</i> .....	3
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>5</b>
2.1 <i>Processo de interceptação</i> .....	5
2.2 <i>Padrões da chuva interna e densidade de copa</i> .....	7
2.3 <i>A influência das estruturas das árvores na distribuição da água da chuva em florestas</i> .....	9
2.4 <i>Análise da dinâmica da interceptação durante eventos de precipitação</i> .....	10
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>13</b>
3.1 <i>Área de estudo</i> .....	13
3.1.1 Bacia da Araonga .....	13
3.1.2 Lagoa do Peri .....	13
3.2 <i>Monitoramento do processo de interceptação</i> .....	15
3.2.1 Chuva externa .....	17
3.2.2 Chuva interna .....	18
3.2.3 Escoamento pelo tronco .....	23
3.3 <i>CARACTERIZAÇÃO da vegetação</i> .....	31
3.3.1 Cobertura da copa .....	31
3.3.2 Estrutura das árvores .....	35
3.4 <i>Padrões de estabilidade temporal e espacial</i> .....	38
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>41</b>
4.1 <i>Análises dos dados de campo e cálculo dos parâmetros de interceptação</i> .....	41
4.1.1 Chuva externa .....	41

4.1.2	Chuva interna e escoamento pelo tronco	43
4.1.3	Parâmetros da vegetação	45
4.1.4	Estimativa da capacidade de armazenamento da copa e coeficiente de chuva interna livre	46
4.1.5	Estimativa da capacidade de armazenamento do tronco e proporção de água desviada da copa para o tronco ( <i>pd</i> )	47
4.1.6	Estimativa do índice de cobertura da copa utilizando fotografias da copa do dossel calculado a partir de fotos ( <i>c</i> )	48
4.2	<i>Padrões da chuva interna e densidade de copa em uma floresta de Mata Atlântica</i>	52
4.3	<i>A influência das estruturas das árvores na distribuição da água da chuva em floresta Ombrófila Densa</i>	61
4.4	<i>Análise da dinâmica da interceptação durante eventos de precipitação</i>	74
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>		<b>81</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>		<b>83</b>
<i>Apêndice A. Características dos eventos monitorados nas parcelas Peri 1 e Peri 2</i>		<i>95</i>
<i>Apêndice B. Equipamento de monitoramento</i>		<i>103</i>
<i>Apêndice C. Monitoramento automático do processo de interceptação</i>		<i>105</i>
<i>Apêndice D. Monitoramento do escoamento pelo tronco</i>		<i>107</i>
<i>Apêndice E. Capacidade de armazenamento da copa (<i>Sc</i>) e do tronco (<i>St</i>)</i>		<i>111</i>
<i>Apêndice F. Erro de medição de campo</i>		<i>115</i>

## 1 INTRODUÇÃO

A água ao precipitar sobre uma floresta poderá ter diferentes caminhos até chegar ao solo: i) ficar retida na copa da árvore e posteriormente gotejar para o solo; ii) da copa escorrer para o tronco da árvore; iii) passar direto entre as copas caindo diretamente no solo. Sendo assim, a chuva que chega ao solo e contribuirá efetivamente para o escoamento não é a chuva total, mas sim a chuva interna ( $T_f$ ) somada ao escoamento pelo tronco ( $S_f$ ), que é a chuva total descontada da perda por interceptação da floresta ( $I$ ). As variáveis que estão presentes nesse processo dependem de fatores relacionado vegetação e as condições climáticas (BRUTSAERT, 2005; DAVID; VALENTE; GASH, 2005; DINGMAN, 2002).

A água interceptada na superfície da vegetação é a porção de água na bacia que está mais disponível para evaporação (HEWLETT, 1983). A interceptação é um processo hidrológico que pode influenciar a infiltração, erosão, umidade do solo, escoamento e geração de vazão (KEIM; SKAUGSET; WEILER, 2005; TSIKO et al., 2012). A interceptação é um fator importante na redução da erosão do solo, pois diminui o impacto da gota da chuva na camada superficial do solo, mantendo a taxa de infiltração (GERRITS; SAVENIJE, 2011; HÖRMANN et al., 1996). O desprezo na estimativa da interceptação pode resultar em erros nos modelos de chuva-vazão (CHAFFE et al., 2010; FENICIA et al., 2008; SAVENIJE, 2004). Ainda metade da quantidade de evaporação a partir da interceptação ocorre durante o evento de chuva (SHUTTLEWORTH, 1983).

A redistribuição espacial da chuva interna na floresta é influenciada por fatores meteorológicos e biológicos. Dentre os fatores meteorológicos podem ser citados: a quantidade de chuva e sua intensidade, a taxa de evaporação, a velocidade do vento, e os intervalos de tempo entre eventos sucessivos (CROCKFORD; RICHARDSON, 2000). Fatores biológicos correspondem à estrutura do dossel florestal, que é afetada pela densidade, posição e composição de espécies das árvores. De fato, as características da folha, distribuição espacial e densidade, arquitetura do ramo, textura da casca e, no caso das espécies de caducifólias, fenofase são fatores que influenciam a interceptação da chuva e a redistribuição espacial em floresta (LEVIA JR; FROST, 2003; NÁVAR, 2011; OLIVEIRA et al., 2008; XIAO; MCPHERSON, 2011).

Trabalhos minuciosos de caracterização da vegetação relacionado a interceptação não foram feitos em florestas heterogêneas, como Floresta de Mata Atlântica, onde a  $T_f$  tem uma grande variação espacial. Devido a essa heterogeneidade espacial na distribuição da chuva

interna, as medições em florestas tropicais são mais propensas a erros de amostragem, principalmente caso se limitem a um número de medidores fixos (LLOYD; MARQUES, 1988).

A redistribuição espacial da precipitação pela copa das árvores pode afetar os processos biológicos dentro da floresta. Quantidades elevadas de escoamento pelo tronco canalizadas em uma pequena área na base do tronco de algumas espécies podem modificar as propriedades físicas e químicas dos solos florestais, bem como a composição de espécies da vegetação (BIALKOWSKI; BUTTLE, 2015; LEVIA et al., 2011; LIU et al., 2015).

Horton (1919) observou que o escoamento pelo tronco representa uma proporção muito pequena da chuva externa. Este resultado pode estar associado à dificuldade de se medir e estimar o volume escoado pelos troncos. O escoamento pelo tronco varia de 0 a 10% da chuva externa em florestas brasileiras heterogêneas (GIGLIO; KOBIYAMA, 2013). Esses valores também são encontrados em ecossistemas tropicais nas quais o escoamento pelo tronco varia de 1 a 14% (LEVIA JR; FROST, 2003). Em termos globais a estimativa do escoamento pelo tronco varia de 1 a 45% da chuva externa. Essa variabilidade se deve às diferentes condições meteorológicas e composições florestais de cada região estudada.

Apesar de aparentemente pequeno em relação a precipitação total incidente acima do dossel, o escoamento pelo tronco não deve ser negligenciado, pois sua influência na velocidade e quantidade de água que atinge o solo florestal controla a infiltração da água da chuva no solo, além de influenciar a parcela do escoamento superficial (OLIVEIRA et al., 2008). Vários fatores podem interferir no escoamento pelo tronco, tais como: intensidade, ângulo, duração e intervalo entre precipitações (CROCKFORD; RICHARDSON, 2000), densidade de copa, estratificação das copas, diversidade de espécies, idade de espécies, filotaxia, tipo de folha, tamanho do limbo, forma do limbo, característica da casca e metodologia de coleta (OLIVEIRA JÚNIOR; DIAS, 2005).

Segundo Giglio e Kobiyama (2013) poucos estudos de medição da interceptação da chuva são realizados em florestas nativas brasileiras, sendo encontrados predominantemente na região Amazônica e Mata Atlântica. As florestas do bioma da Mata Atlântica nas quais existem estudos são: Floresta Ombrófila Densa e Mista, Floresta Seca, Floresta Paludosa e Floresta Estacional Semidecidual. Em florestas da Mata Atlântica, a perda por interceptação varia de 8 a 21%, a chuva interna varia de 78 a 97% e 0,2 a 3,3% da chuva escoam pelos troncos (GIGLIO; KOBIYAMA, 2013).

Este trabalho trata sobre a influência da Floresta Ombrófila Densa e Mista na redistribuição da chuva, e ao longo do trabalho iremos responder as seguintes perguntas: (i) Qual é a relação entre os parâmetros da copa e a distribuição da chuva interna? (ii) Como as

características da vegetação interferem na distribuição do escoamento pelo tronco e da chuva interna? (iii) Como é a dinâmica temporal do processo de interceptação da copa? Nesse sentido, este trabalho pode colaborar no entendimento de duas das 23 perguntas não resolvidas da hidrologia (*Twenty-three Unsolved Problems in Hydrology (UPH)-a community perspective*, Blöschl et al., 2019): (p5) O que causa heterogeneidade espacial e homogeneidade no escoamento superficial, evaporação, fluxos subterrâneos de água e material (carbono e outros nutrientes, sedimentos) e em sua sensibilidade a seus controles (por exemplo, regime de queda de neve, aridez, coeficientes de reação)? (p17) Qual é o valor relativo das observações hidrológicas tradicionais versus dados brutos (observações qualitativas de leigos, mineração de dados etc.) e sob quais condições podemos substituir o espaço pelo tempo?

## 1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo dessa tese é compreender o processo de interceptação em área coberta por Mata Atlântica (Floresta Ombrófila Mista e Densa).

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS E HIPÓTESES

**Objetivo I:** Quantificar e caracterizar a distribuição espacial e temporal da chuva interna em uma parcela coberta por Floresta Ombrófila Mista;

**Hipótese I:** A característica da copa influencia na quantidade de água da chuva que chega no solo;

**Objetivo II:** Verificar as características da estrutura das árvores que influenciam na chuva interna e no escoamento pelo tronco em duas parcelas coberta por Floresta Ombrófila Densa;

**Hipótese II:** A distribuição da chuva interna e do escoamento pelo tronco mudam conforme a estrutura da árvore;

**Objetivo III:** Analisar a variação do processo de interceptação da copa durante o evento de precipitação.

**Hipótese III:** O armazenamento da copa e do tronco variam ao longo do evento de precipitação;

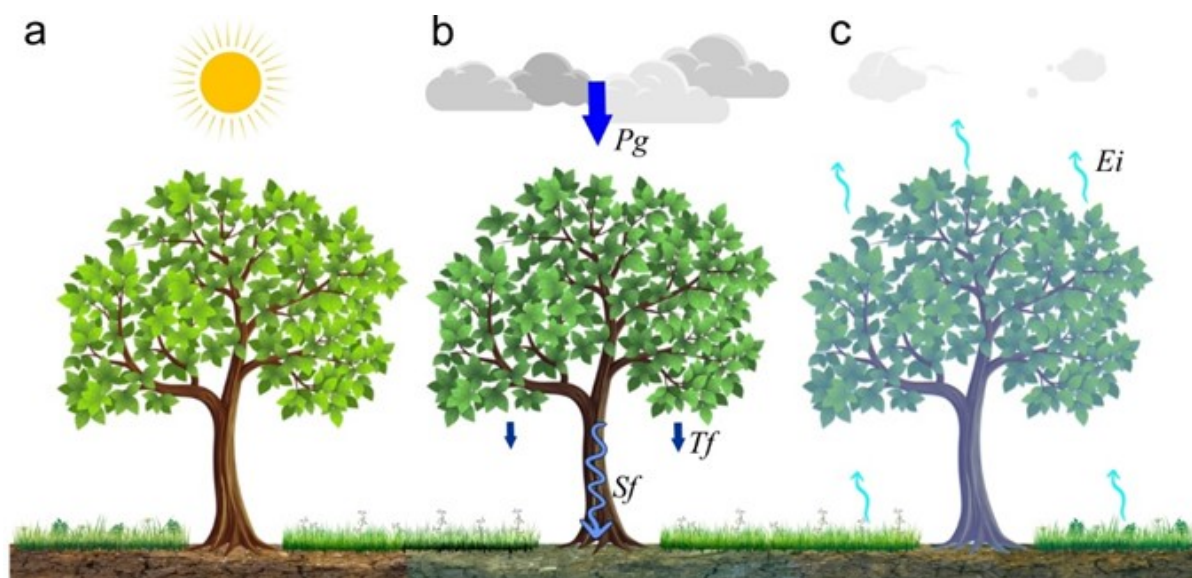


## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PROCESSO DE INTERCEPTAÇÃO

O primeiro processo pelo qual a água da chuva passa na bacia hidrográfica é a interceptação e influencia todos os outros processos hidrológicos (TSIKO et al., 2012). Parte da precipitação total ( $P_g$ , do termo em inglês *Gross Precipitation*), de um evento de chuva é interceptada pela superfície da floresta, ficando retida e redistribuída ao solo ou evaporada posteriormente. A chuva que passa pela vegetação e chega ao solo é chamada de chuva interna ( $T_f$ , do termo em inglês *Throughfall*) (Figura 2-1b). A água que chega ao solo por meio dos troncos das árvores é chamada de escoamento pelo tronco ( $S_f$ , do termo em inglês *Stemflow*). A parte da chuva que é interceptada pelas copas das árvores e evapora durante e após a precipitação é chamada de perda por interceptação da copa ( $I_c$ ). Essas variáveis dependem de fatores relacionados tanto com a vegetação quanto com as condições climáticas nas quais a floresta está inserida (BRUTSAERT, 2005; DAVID; VALENTE; GASH, 2005)

Figura 2-1 Ilustração simplificada do processo de interceptação. (a) Condição inicial seca da vegetação. (b) Quando ocorre um evento de chuva, parte da precipitação total ( $P_g$ ) é retida na vegetação. A precipitação que não é interceptada passa ao solo e serapilheira como chuva interna ( $T_f$ ). A água acumulada no tronco pode superar seu armazenamento e se mover ao solo como escoamento pelo tronco ( $S_f$ ). (c) A água armazenada na vegetação volta à atmosfera por evaporação ( $E_i$ ).



Muitos fatores contribuem para a distribuição da  $T_f$ , tais como: i) fatores climáticos: intensidade da precipitação, velocidade do vento, temperatura do ar, humidade e radiação solar (BULCOCK; JEWITT, 2010; DELPHIS F. LEVIA; CARLYLE-MOSES; TADASHI TANAKA, 2011; HERBST et al., 2006; TOBA; OHTA, 2008) ; ii) características da vegetação: tipo, orientação, altura, densidade da vegetação, capacidade de armazenamento, grau de

desenvolvimento da planta, características de descascamento do tronco, presença/ausência de líquenes e fungos, padrões de ramificação da copa e ângulo de inclinação dos galhos (GERMER; ELSENBEER; MORAES, 2005; KEIM; SKAUGSET; WEILER, 2005; PYPKER et al., 2005; RAHMANI; SADODDIN; GHORBANI, 2011; STAELENS et al., 2008); e iii) sazonalidade, particularmente para aquelas regiões com ocorrência de períodos chuvosos e alguma estação chuvosa bem definida (DEGUCHI; HATTORI; PARK, 2006; HERBST et al., 2008; MULULO SATO; DE SOUZA AVELAR; COELHO NETTO, 2011).

A interceptação pode ser definida de diferentes formas: como um armazenamento; um fluxo; ou, o mais apropriado, como um processo (SAVENIJE, 2004). O armazenamento ( $S$ ) é definido como a capacidade de retenção de água na vegetação, a partir do qual em seguida a água interceptada evapora ao longo de um período. Quando a interceptação ( $I$ ) é considerada como um processo, parte do fluxo da precipitação, que está interceptada pela superfície molhada, volta para a atmosfera através da evaporação. O processo de interceptação pode ser então interpretado como à soma da mudança de armazenamento das árvores ( $S$ ) e a perda por evaporação ( $Ei$ ) da superfície molhada (GERRITS; SAVENIJE, 2011).

$$I = \frac{dS}{dt} + Ei \quad (2-1)$$

Gerrits e Savenije (2011) assumem que a escala de tempo do processo de interceptação (Equação (2-1)) é de aproximadamente 1 dia, que dependendo do clima esse é o tempo máximo que a variável  $dS/dt$  se aproxima de zero e  $I = Ei$ . Esse processo pode levar mais tempo em casos de clima mais frio.

A interceptação da chuva pela vegetação afeta outros processos hidrológicos ao alterar as características locais, afetando, por exemplo, a capacidade de infiltração, erosão e distribuição da umidade do solo, a geração de escoamento e ocorrência inundações (KEIM; SKAUGSET; WEILER, 2005; TSIKO et al., 2012). A erosão do solo é conservada devido à diminuição do impacto das gotas da chuva na superfície, conservado a capacidade de infiltração (GERRITS; SAVENIJE, 2011; HÖRMANN et al., 1996). Nas áreas florestais, a interceptação impacta o equilíbrio entre água de captação e reciclagem da umidade. Vários trabalhos, como Herbst et al. (2008), Tsiko et al. (2012) e Xiao et al. (2000), têm demonstrado a importância da interceptação da chuva dentro do ciclo hidrológico em diferentes tipos de florestas, podendo chegar a representar entre 10 e 50 % da precipitação total (KLAASSEN et al., 1998).

A perda por interceptação é tratada como um simples balanço hídrico e fraciona-se em duas variáveis (BOSCH; HEWLETT, 1982), conforme a equação (2-2).



$$I = I_c + I_f \quad (2-2)$$

onde  $I$  é o total das perdas por interceptação (mm),  $I_c$  é a perda por interceptação da copa das árvores (mm) e  $I_f$  é a perda por interceptação do chão da floresta (mm).

A estimativa da interceptação da copa é mais complexa e indireta, sendo realizada através da medição da chuva externa, chuva interna e do escoamento de tronco, conforme a equação (2-3).

$$I_c = P_g - (Tf + Sf) \quad (2-3)$$

onde  $P_g$  é a chuva total (mm);  $Tf$  é a chuva interna (mm) e  $Sf$  é o escoamento pelo tronco (mm).

Juntando as equações (2-2) e (2-3) tem-se a Equação (2-4) para a estimativa da interceptação.

$$I = P_g - Tf - Sf + I_f \quad (2-4)$$

## 2.2 PADRÕES DA CHUVA INTERNA E DENSIDADE DE COPA

A interceptação da chuva pelas florestas controla a quantidade de água que chega ao solo e a quantidade que estará disponível para uso humano e ecológico. O processo de interceptação tem sido cada vez mais investigado através do monitoramento e modelagem em todo o mundo (LLORENS; DOMINGO, 2007; MUZYLO et al., 2009; PRICE; CARLYLE-MOSES, 2003). Seus principais controles são fatores meteorológicos e biológicos. Dentre os fatores meteorológicos podem ser citados: a quantidade de chuva e sua intensidade, a taxa de evaporação, a velocidade do vento, e os intervalos de tempo entre eventos sucessivos (CROCKFORD; RICHARDSON, 2000). Fatores biológicos correspondem à estrutura do dossel florestal, que é afetada pela densidade, posição e composição de espécies das árvores. De fato, as características da folha, distribuição espacial e densidade, arquitetura do ramo, textura da casca e, no caso das espécies de caducifólias, fenofase são fatores que influenciam a interceptação da chuva e a redistribuição espacial em floresta (LEVIA JR; FROST, 2003; NÁVAR, 2011; OLIVEIRA et al., 2008; XIAO; MCPHERSON, 2011).

Devido à complexidade da estrutura da copa, a chuva interna varia no tempo e no espaço, sendo comum o uso de parâmetros, como Índice de Área Foliar (LAI) e Índice de Cobertura do Dossel (CCF), para representar a influência da vegetação em modelos hidrológicos. Germer et al. (2005) analisaram a distribuição espacial da chuva interna na região amazônica, e encontraram uma relação significativa com os índices de cobertura do dossel devido ao crescimento sazonal da vegetação. A evaporação da água armazenada na vegetação

pode variar amplamente devido às diferentes propriedades das folhas para copas com o mesmo LAI (BENYON; DOODY, 2015). Alguns estudos relataram uma correlação positiva entre o LAI e a evaporação de interceptação (FAN et al., 2015; FLEISCHBEIN et al., 2005), enquanto outros encontraram apenas uma relação fraca entre chuva interna e cobertura do dossel (JOHNSON, 1990; KONISHI et al., 2006; LOESCHER; POWERS; OBERBAUER, 2002; MARIN; BOUTEN; SEVINK, 2000)

Uma revisão de estudos de interceptação no Brasil mostrou que a maioria dos estudos de interceptação foi realizado na Amazônia e na Mata Atlântica. (GIGLIO; KOBIYAMA, 2013). A interceptação nos demais biomas brasileiros ainda é pouco investigada. Florestas nativas brasileiras estão entre os 25 principais pontos de biodiversidade do mundo (MYERS et al., 2000) e o papel dessas florestas no ciclo da água merece ser mais investigado. A variabilidade espacial da chuva interna tem sido estudada principalmente na Amazônia (CUARTAS et al., 2007; GERMER; ELSENBEEER; MORAES, 2005; LLOYD; MARQUES, 1988). Embora existam vários estudos sobre o processo de interceptação da Mata Atlântica (ALVES et al., 2007; ARCOVA; CICCIO; ROCHA, 2003; CASTRO et al., 1983; COELHO NETTO; SANCHE; PEIXOTO, 1986; FERREIRA; LUIZÃO; DALLAROSA, 2005; FRANKEN et al., 1982; MOURA et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2008; SCHEER, 2009; SOUZA; MARQUES, 2010; SOUZA et al., 2007; VIEIRA; PALMIER, 2006), ao nosso conhecimento, apenas Sari, Paiva e Paiva (2015) investigaram a variabilidade espacial da chuva interna. Os autores observaram uma persistência no tempo de distribuição espacial da chuva interna, o que sugere que a vegetação desempenha um papel importante na redistribuição da precipitação neste tipo de floresta.

Qualquer modelo hidrológico que considere a vegetação tem grandes dificuldades em representá-la, impostas pelas mudanças ambientais, zona climática, fenologia e morfologia das folhas (FATICHI; PAPPAS; IVANOV, 2016). Para melhorar a parametrização do modelo, é importante entender como a estrutura da floresta controla a redistribuição espacial da precipitação. A relação entre a chuva interna e a cobertura do dossel ainda é pouco conhecida para a maioria dos tipos de floresta no mundo e, até onde sabemos, nunca foi explorada na Mata Atlântica. Enquanto Sari; Paiva e Paiva (2015) investigaram a distribuição espacial de passagem na Mata Atlântica, não houve tentativa de relacionar esse padrão com a cobertura do dossel.

### 2.3 A INFLUÊNCIA DAS ESTRUTURAS DAS ÁRVORES NA DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA EM FLORESTAS

O escoamento pelo tronco pode sofrer influência de vários fatores abióticos, tais como intensidade, ângulo, duração e intervalo entre chuvas (CROCKFORD; RICHARDSON, 2000; STAELENS et al., 2008); assim como fatores bióticos, por exemplo, o tamanho da árvore, densidade de copa, tipo de folha e característica da casca (PRICE; CARLYLE-MOSES, 2003; VAN STAN; JARVIS; LEVIA, 2010). É importante notar que muitos fatores abióticos e bióticos que afetam o rendimento do escoamento pelo tronco são mutuamente interativos. Geralmente o escoamento pelo tronco representa menos de 10% da chuva externa, mas este valor depende das características da vegetação (LEVIA JR; FROST, 2003).

O escoamento pelo tronco é um insumo hidrológico que é espacialmente concentrado na base de uma árvore (VAN STAN; LEVIA, 2009). Para algumas espécies, o volume de água escoado pelo tronco pode estar diretamente ligado a sobrevivência destas no ambiente, principalmente nos períodos mais secos do ano. Segundo Návar (2011), o volume de água recebido nas proximidades dos troncos chega a ser cinco vezes superior aquele recebido por áreas mais distantes.

Horton (1919) observou que o escoamento pelo tronco representa uma proporção muito pequena da chuva externa. Apesar de aparentemente pequeno em relação a precipitação total incidente acima do dossel, o escoamento pelo tronco não deve ser negligenciado, pois sua influência na velocidade e quantidade de água que atinge o solo florestal permite boa infiltração da água da chuva no solo, além de reduzir a incidência de escoamento superficial (LEVIA; GERMER, 2015).

Baixos valores de volume de água escoada pelos troncos podem estar associados à dificuldade de se medir e estimar este volume em campo (ABOAL et al., 1999; CROCKFORD; RICHARDSON, 2000; SCHROTH et al., 1999). Como consequência, estudos hidrológicos frequentemente negligenciam o escoamento pelo tronco. No entanto, na escala de árvores, o fluxo do caule pode ser muito grande e ecologicamente relevante (HONDA; MENDONÇA; DURIGAN, 2015).

Em dados globais, a estimativa do escoamento pelo tronco varia de 1 a 45% da chuva externa. Essa variabilidade se deve às diferentes condições meteorológicas e composições florestais de cada região estudada. Em florestas brasileiras heterogêneas o escoamento pelo tronco variou de 0 a 10% da chuva externa (GIGLIO; KOBAYAMA, 2013). Esses valores também são encontrados em regiões tropicais nas quais o escoamento pelo tronco varia de 1 a 14% (LEVIA; FROST, 2006).

Levia et al. (2015) examinaram as relações específicas entre os volumes do escoamento de tronco de 10 mudas de faia europeia (*Fagus sylvatica L.*) com um conjunto abrangente de medidas da estrutura das mudas que são muito difíceis de obter para árvores de copa, empregando um conjunto de mudas experimentais isoladas. Concluíram que as características das estruturas das mudas têm efeito no rendimento do escoamento pelo tronco, como a área de projeção e o ângulo médio de inclinação dos ramos.

## 2.4 ANÁLISE DA DINÂMICA DA INTERCEPTAÇÃO DURANTE EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO

A interceptação da chuva é um processo importante no balanço hídrico das florestas (IIDA et al. (2017)). O processo de interceptação é um componente importante do ciclo hidrológico em um ecossistema florestal. Dentro do contexto do balanço hídrico, durante períodos secos a transpiração e a evaporação da água do solo compõem o consumo de água de uma superfície vegetada. Durante períodos chuvosos, todavia, a interceptação também passa a fazer parte das perdas de água pelo ecossistema.

A adoção de um tempo mínimo inter-evento (TMI) de 12 h em um estudo da perda por interceptação de chuva decorre em parte nas copas das árvores as perdas por evaporação. Durante estes tempos, a capacidade de armazenamento do dossel poderia diminuir por secagem durante o período entre eventos, separados pelo TMI. Em outras palavras, embora o uso de um determinado TMI possa criar independência entre os eventos, aumenta potencialmente as estimativas baseadas em eventos aparentes da perda de interceptação por causa de secagem durante períodos inter-evento sem chuva (DUNKERLEY, 2008).

As propriedades desses eventos muitas vezes se tornam a base para descrever o clima, utilizando medidas como a média e a variância de duração do evento, lâmina d'água e intensidade da precipitação evento.

A análise da precipitação é baseada na série histórica de eventos chuvosos. Na análise dos eventos de precipitação, ainda não há consenso no meio científico no que se refere à padronização de um valor de TMI a ser usado como critério de análise. Geralmente cada estudo utiliza o valor que acha mais apropriado (DUNKERLEY, 2008).

Eventos de chuva são comumente delineados utilizando a abordagem do TMI. Isto especifica um período sem chuvas essencialmente arbitrário, frequentemente de 6 a 8 horas, que é o critério para o reconhecimento do início de um novo evento quando a chuva recomeça. Usando essa abordagem, interlúdios sem chuva dentro de um evento podem ser quase tão longo quanto o TMI.

Nos estudos do processo da interceptação, o TMI é muitas vezes escolhido de modo que há tempo suficiente entre os eventos para as copas das árvores sequem, para que quando se iniciar o próximo evento o armazenamento da copa esteja vazio (Figura 2-1 (a)). Isso reduz a dependência de qualquer evento do processo das perdas por interceptação no tempo desde o evento anterior ou chuva em suas propriedades (lâmina d'água, duração), e destina-se a permitir que os dados de cada evento sejam interpretados de forma independente.

A quantidade de água que fica armazenada na copa pode variar com as condições do evento (HELVEY; PATRIC, 1965). Shuttleworth (1983) observou que metade da evaporação provinda da interceptação ocorre durante o evento de precipitação. Em climas quentes, a evaporação da água interceptada é uma parcela significativa da evaporação total (SAVENIJE, 2004).

Dunkerley (2014) demonstrou que o escoamento pelo tronco é maior para os eventos com um pico de chuva no final do evento do que no início e para eventos que têm intensidade constantes, indicando que para chuvas com pico de intensidade na parte inicial, o escoamento é utilizado para a saturação do tronco e desenvolvimento de percursos após o fim da chuva externa.

Iida et al., (2017) analisaram a dinâmica do processo de interceptação para a primeira e segunda metade dos eventos de chuva com base nas intensidades da precipitação externa em floresta de cedros japoneses. Os autores concluíram que: (i) a relação da chuva externa e da perda por interceptação não é linear, mas sim uma curva parabólica; (ii) a proporção da interceptação na primeira metade do evento é maior do que na segunda metade; e (iii) a capacidade de armazenamento de água pela copa variou durante o evento.



### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 ÁREA DE ESTUDO**

Esse trabalho foi realizado a partir do monitoramento do processo de interceptação de duas bacias experimentais, sendo uma localizada no município de Rio Negrinho e a outra no município de Florianópolis. Mais detalhes sobre a localização e o monitoramento são apresentados nos itens a seguir.

##### **3.1.1 Bacia da Araponga**

A bacia hidrográfica de Araponga está localizada no município de Rio Negrinho, norte do estado de Santa Catarina, sul do Brasil (Figura 3-1). A bacia tem 5,3 hectares e a altitude varia de 880 m a 1006 m acima do nível do mar. É classificada como segunda ordem e é totalmente coberta pela Mata Atlântica Subtropical (MOTA et al., 2017).

A cidade de Rio Negrinho situa-se na bacia sedimentar do Paraná, na unidade geomorfológica Mafra. Os solos dominantes na região são do grupo Cambissolo, derivados de rochas sedimentares e de solos caracterizados por um horizonte B incipiente, pouco desenvolvido e apresentando argila de alta atividade e alta saturação (MOSER, 1990).

A bacia é completamente coberta pela Floresta Ombrófila Mista secundária (Figura 3-1). A flora mais comum são as pequenas árvores, xaxim (*Dicksonia sellowiana*), arbustos e ervas; as árvores de grande porte são esparsas; as bromélias, lianas e aglomerados de bambu estão amplamente presentes. A bacia hidrográfica pertence às cabeceiras da bacia do rio Iguaçu. O clima regional é o tipo Köppen Cfb, ou seja, clima temperado sem estação seca e com verão quente (a temperatura média do mês mais quente é sempre inferior a 22°C (SANTA CATARINA, 1997). Considerando o período entre 1975 e 2010, a chuva externa média anual foi de 1544 mm/ano e a temperatura média mensal foi de 18°C. Maio a setembro são os meses mais frios e novembro a fevereiro são os meses mais quentes.

##### **3.1.2 Lagoa do Peri**

A bacia hidrográfica da Lagoa do Peri está localizada ao sul da Ilha de Santa Catarina, nas coordenadas 27 ° 44 'de latitude sul e 48° 31"de longitude oeste (Figura 3-1), e está inserida em uma área de preservação permanente de Mata Atlântica (HENNEMANN; PETRUCIO, 2010; LEMES-SILVA; PAGLIOSA; PETRUCIO, 2014).

A bacia hidrográfica da Lagoa do Peri tem uma área de aproximadamente 20 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 5% da superfície da ilha. A profundidade da lagoa aumenta de oeste para leste e seu ponto mais profundo chega a 11 metros, e a média varia de 2 a 4 metros

(HENNEMANN; PETRUCIO, 2011; LEMES-SILVA; PAGLIOSA; PETRUCIO, 2014). O nível da lagoa está entre 2 e 3 metros acima do nível do mar, sem ser influenciado pelas marés, e suas águas são livres de salinidade (MAROTTA; FONTES; PETRUCIO, 2012; REZENDE et al., 2013).

A lagoa é a principal fonte de abastecimento da ilha, com aproximadamente 5,7 km<sup>2</sup> de espelho d'água (FONTES et al., 2013; LEMES-SILVA; PAGLIOSA; PETRUCIO, 2014). A área é cercada por morros cobertos por Floresta Ombrófila Densa e uma típica restinga de vegetação costeira, que a mantém separada do Oceano Atlântico. A lagoa tem um perímetro de 11 km, com um limite máximo de 4 km, a vantagem máxima de 1,54 km para o setor norte e 1,87 km para o setor sul (FONTES et al., 2013).

O clima em Florianópolis é considerado do tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen, sendo úmida mesotérmica sem estação seca definida e com verão quente. A distribuição de chuvas é regular ao longo do ano, mas com uma relativamente maior concentração nos meses de verão e um pouco menor no inverno (HINKEL, 2002).

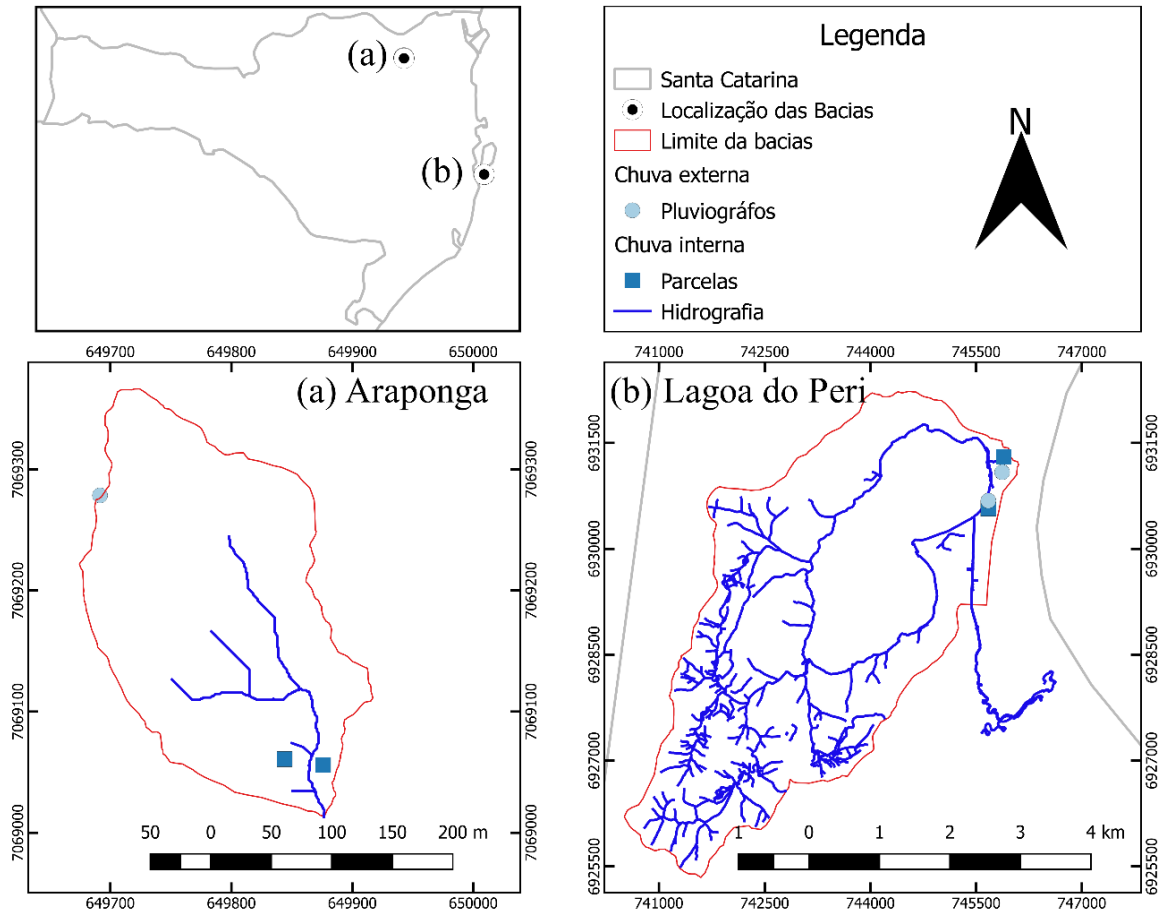
A precipitação média anual é de cerca de 1500 mm e a temperatura média anual é de 20,4 °C, com pequena amplitude térmica devido à influência do mar (HENNEMANN; PETRUCIO, 2010). O mar também influencia a umidade relativa do ar médio de 80%, sendo maior no inverno.

Ventos dominantes sopram do quadrante norte ( $\approx 37\%$ ) associados à massa de ar tropical do Atlântico, seguidos pelos vértices do sudeste ( $\approx 17\%$ ) e sul ( $\approx 16\%$ ) que são mais velozes com rajadas de até 80 km (CABRAL, 1999; CARDOSO et al., 2008; OLIVEIRA, 2002).

O Parque Municipal da Lagoa do Peri é coberto por densas florestas ombrófilas, com capoeirinha, regeneração média (capoeira) e avançada (capoeirão) de floresta secundária e remanescentes de vegetação primária (KUERTEN, 1998). No lado leste, além das áreas de restinga (Figura 3-1) que estão em processo de regeneração (restinga arbustiva e restinga arbórea), também se encontra uma parcela que foi reflorestada (pinus e eucalipto) (CABRAL, 1999). Ao longo da costa leste e sudoeste da lagoa existem pequenas parcelas de vegetação aluvial herbácea (PEREIRA, 2001).



Figura 3-1 Localização das bacias experimentais (Parcela Araponga e Parcela Peri). Estado de Santa Catarina e localização das bacias monitoradas (esquerda superior). Bacia hidrográfica Arapongas (esquerda inferior). Bacia hidrográfica da lagoa do Peri (direita inferior).



### 3.2 MONITORAMENTO DO PROCESSO DE INTERCEPTAÇÃO

O monitoramento foi realizado em quatro parcelas experimentais diferentes, sendo duas parcelas localizadas em Floresta Ombrófila Mista (Bacia Araponga) e duas parcelas localizadas em Floresta Ombrófila Densa (Bacia Lagoa do Peri). Nas duas bacias foram realizados o monitoramento da chuva externa ( $P_g$ ), chuva interna ( $T_f$ ) e escoamento pelo tronco ( $S_f$ ).

A chuva externa e a chuva interna foram monitoradas utilizando pluviógrafos e pluviômetros. O monitoramento do escoamento pelo tronco foi realizado com o uso de anéis de retenção nos troncos. O monitoramento da cobertura florestal foi realizado a partir de fotografias tiradas do dossel das árvores e por imagens de satélites.

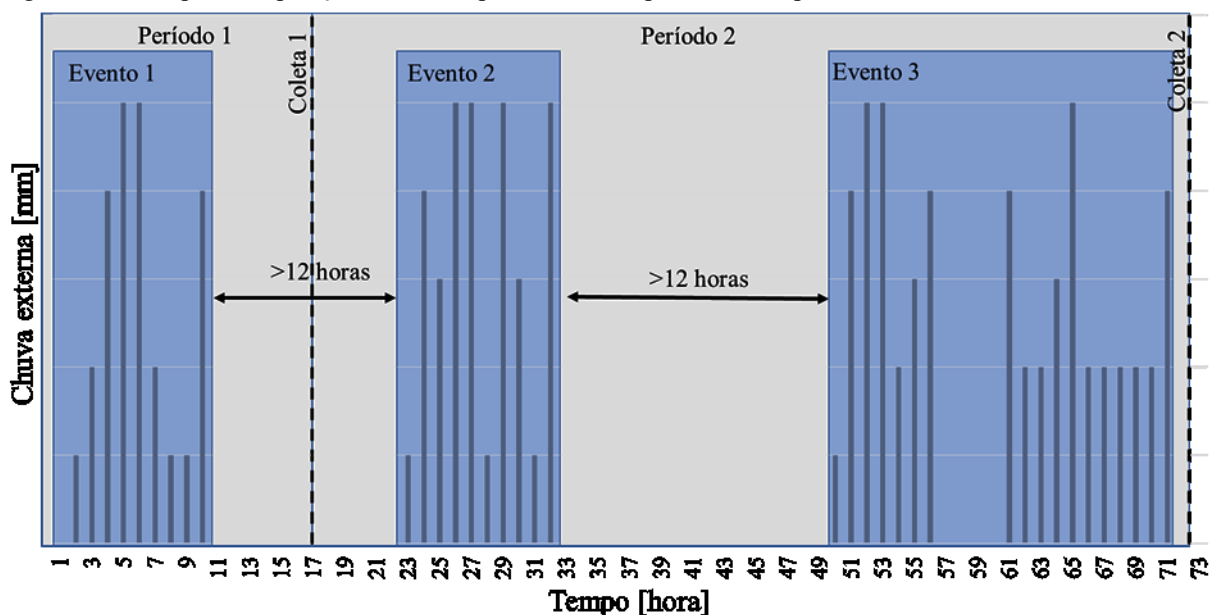
Os números de medidores usados em cada período e em cada parcela são resumidos na Tabela 3-1.

Tabela 3-1 Visão geral das diferentes configurações do monitoramento da chuva interna e os períodos de medição.

Bacia	Parcela	Parâmetro	Período de monitoramento	Nº de equipamentos	Nº de períodos monitorados
ARAPONGA	Parcela 1	Chuva interna	11/2013 – 04/2014	8	10
		Escoamento pelo tronco	04/2014 – 12/2014	28	13
		Escoamento pelo tronco	01/2014 – 12/2014	5	20
	Parcela 2	Chuva interna	11/2013 – 12/2014	8	23
		Escoamento pelo tronco	01/2014 – 12/2014	5	20
PERI	Parcela 1	Chuva interna	10/2015 – 02/2017	17	62
		Escoamento pelo tronco	02/2017 – 12/2018	23	76
	Parcela 2	Chuva interna	04/2016 – 12/2018	18	108
		Chuva interna	04/2017 – 10/2017	18	20
		Escoamento pelo tronco	10/2017 – 12/2018	24	46
	Escoamento pelo tronco	10/2017 – 12/2018	20	46	

A série foi dividida em períodos de coletas, na maioria das vezes o monitoramento era realizado um dia após o término do evento, o evento foi considera com 12 horas sem chuva. No entanto, por questões de logística, algumas coletas só ocorreram depois de vários eventos, ficando assim mais de um evento agrupado em um mesmo período (Figura 3-2).

Figura 3-2 Exemplo da separação dos dados pluviométricos por eventos e períodos.



### 3.2.1 Chuva externa

Na bacia da Araponga, a chuva externa e a chuva interna foram medidas por 3 anos, de janeiro de 2012 a dezembro de 2014. A chuva externa foi registrada por um pluviógrafo (Waterlog H-340, área de captação com 20 cm de diâmetro, resolução de 0,24 mm) ligado a um datalogger Waterlog H-500 XL alimentado por uma bateria de 12V e um painel solar (Figura 3-3a).

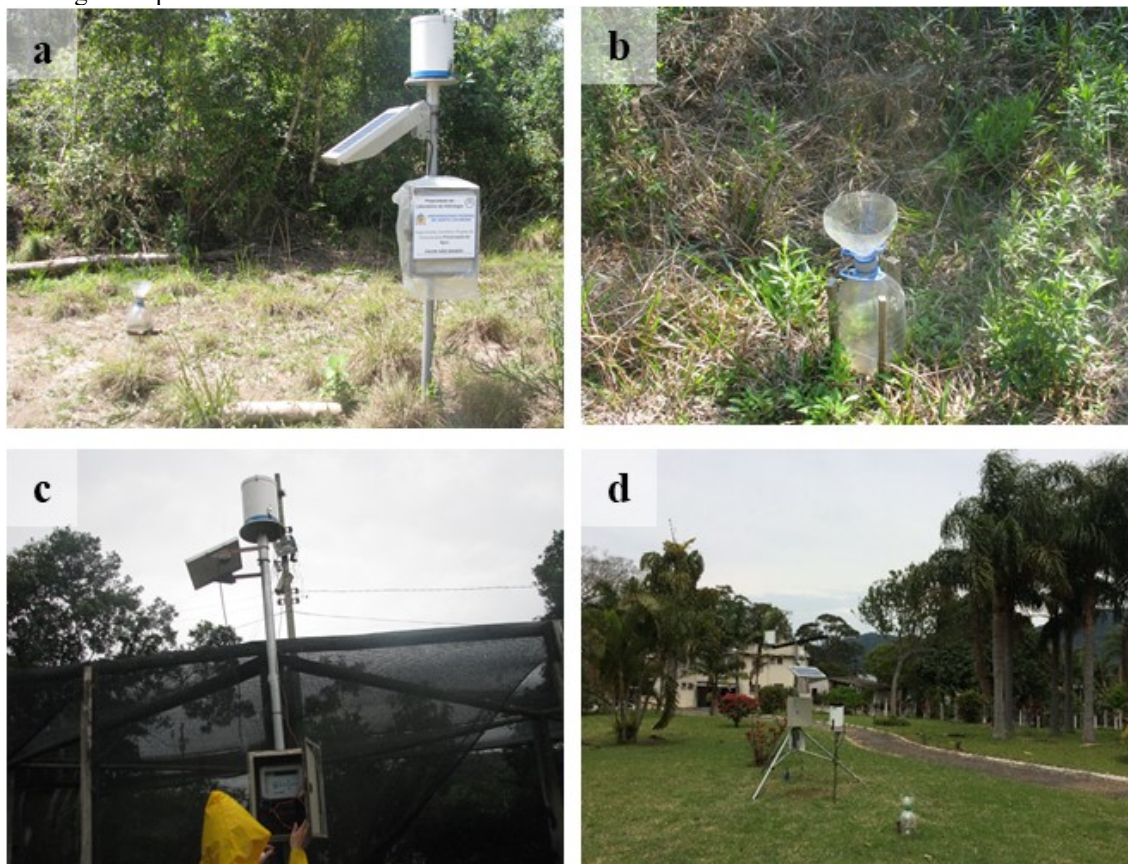
O pluviógrafo foi instalado a 1,5 m acima do solo e em uma área sem obstáculos a uma distância de pelo menos o dobro da diferença entre a altura do obstáculo e a altura da área do pluviógrafo (MOTA et al., 2017). O sistema foi configurado para registrar a quantidade de chuva a cada 5 minutos. Para cada período, foi calculada a intensidade de precipitação máxima de 5 min ( $I_{5max}$ ). Também foi instalado um pluviômetro (Figura 3-3b) ao lado do pluviógrafo para comparar os valores entre eles. Esses equipamentos foram utilizados por Giglio (2013), Mota et al. (2017), Sá (2015), Sá et al. (2016) e Sá, Chaffe e Oliveira (2015).

O pluviógrafo da bacia da Araponga (Figura 3-3a) está localizado na cabeceira da bacia (Figura 3-1), sendo o ponto mais alto da bacia. A instalação foi realizada em 17/12/2011, mas para esse trabalho foram utilizados os dados de janeiro de 2012 a dezembro de 2014.

Na bacia da Lagoa do Peri a chuva externa e a chuva interna foram medidas por 39 meses, de outubro de 2015 a dezembro de 2018. Foram instaladas duas estações pluviométricas para o monitoramento da chuva externa (Figura 3-1). A chuva externa foi registrada por pluviômetro automático com balsa (o mesmo equipamento da Bacia da Araponga). Os pluviógrafos tem uma configuração para registrar os dados a cada minuto, possuem diâmetro de abertura de 20 cm e resolução de 0,24 mm.

O pluviógrafo localizado na Casa de Retiro Vila Fátima está instalado a 1,5 m do solo e em uma área aberta sem nenhum obstáculos a uma distância de pelo menos o dobro da diferença entre a altura do obstáculo e a altura da área coletora (Figura 3-3d). O outro pluviógrafo foi instalado em cima do viveiro da Fundação Municipal do Meio Ambiente de Florianópolis (FLORAM), conforme demonstrado na Figura 3-3c. Ao lado de cada pluviógrafo foi instalado um pluviômetro para fornecer o volume acumulado da chuva externa e para comparar os valores entre eles.

Figura 3-3 Monitoramento da Chuva externa:(a) Pluviógrafo e pluviômetro na bacia da Araponga; (b) exemplo do Pluviômetro; (c) Pluviógrafo no viveiro da Fundação Municipal do Meio Ambiente de Florianópolis (FLORAM); (d) Pluviógrafo e pluviômetro na Casa de Retiros Vila Fátima.



O primeiro ponto instalado da chuva externa da Bacia do Peri, foi o pluviógrafo da Floram, em 29/10/2015. Em seguida foram instalados os pluviômetros da chuva interna e o escoamento pelo tronco da Parcela 1 (FLORAM - Peri 1), que fica próximo desse ponto. Em janeiro de 2016 foi instalado o pluviógrafo para chuva externa do Retiro, e em 11 de abril de 2017 foi instalada a Parcela 2 (RETIRO - Peri 2), que fica localizada a 200 metros da estação pluviométrica do Retiro.

Foram realizados 199 períodos de medição, sendo 61 períodos na bacia da Araponga (2012 a 2014) e 138 períodos na bacia da Lagoa do Peri. Na Bacia do Peri o monitoramento dos pluviômetros foi dividido em períodos, de duração igual ao intervalo entre uma chuva e outra. Na maioria das vezes o monitoramento era realizado um dia após o término do evento. Já na bacia da Araponga o monitoramento foi realizado quinzenalmente.

### 3.2.2 Chuva interna

A chuva interna foi estimada usando pluviômetros manuais colocados em 9 pontos diferentes (P1 a P9) na bacia hidrográfica da Araponga (Figura 3-1). Estes pluviômetros consistiram em um funil de área de 195 cm<sup>2</sup> conectado por um orifício de 1 cm de diâmetro a

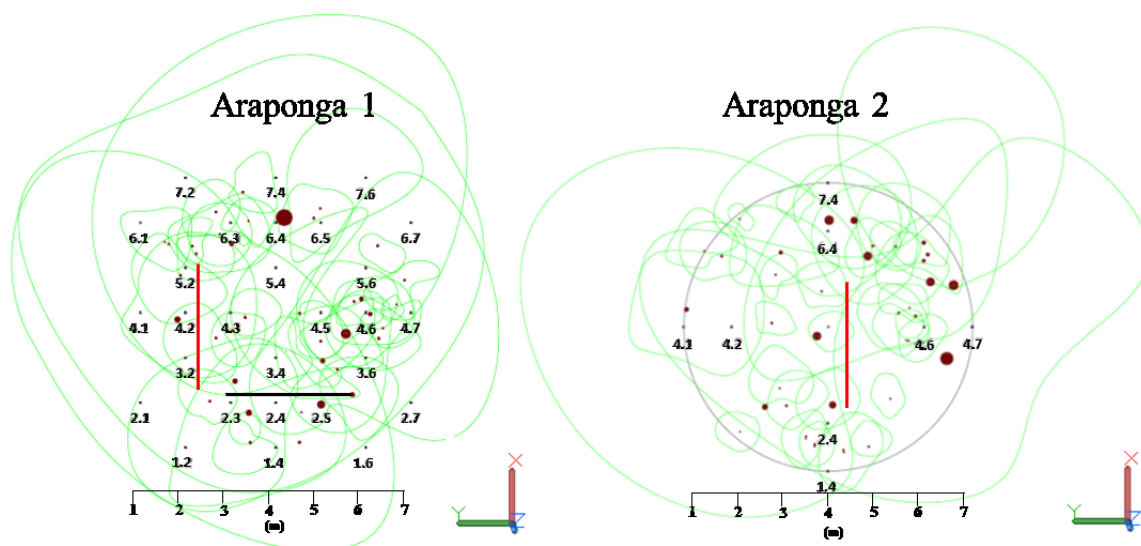
uma garrafa de 5L de volume (Figura 3-4cd). O monitoramento automático foi realizado utilizando um sistema de calha ligada ao pluviógrafo (Figura 3-4a). A calha possui uma área total de captação de 0,6 m. Uma garrafa PET foi ligada ao pluviógrafo para o monitoramento do volume coletado pela calha (Figura 3-4b), as calhas foram instaladas nas parcelas 2 e 6.

Além disso, em 08 de novembro de 2013, 8 medidores manuais foram instalados em uma área circular de 3 m de raio no ponto P2 (Araponga 1) e P6 (Araponga 2). Com o objetivo de investigar a variabilidade espacial da chuva interna, em 15 de abril de 2014 foram instalados 20 pluviômetros adicionais na Araponga 2. Os pluviômetros foram numerados de acordo com sua posição na parcela (Figura 3-5). Os medidores instalados nas Parcelas 1 e 2 foram semelhantes aos utilizados no P1 a P9, mas com uma área de coleta de 185 cm<sup>2</sup>. Todos os medidores foram colocados abaixo do dossel ao nível do solo. A área de coleta foi localizada a 40 cm acima da superfície do solo.

Figura 3-4 Monitoramento da chuva interna na bacia da Araponga: (a) calha ligada ao pluviógrafo; (b) garrafas ligada ao pluviógrafo; (c) pluviômetro e (d) pluviômetro próximo do tensiômetro.



Figura 3-5 Configuração da distribuição espacial dos pluviômetros de chuva interna nas parcelas da bacia da araponga. Os círculos pretos preenchidos representam os medidores feitos à mão, os círculos vazios representam os troncos como DAP, as linhas contínuas representam as calhas e os polígonos representam a projeção da copa das árvores.



A Peri 1 foi instalada em uma vegetação classificada como Restinga Arbórea. No monitoramento da chuva interna foram utilizados dois tipos de dispositivos, pluviômetros e pluviógrafos, sendo que a medição automática foi realizada utilizando um sistema de calha ligada ao pluviógrafo (Figura 3-6a). A calha possui uma área total de captação de 0,6 m<sup>2</sup>, composta por 1 unidade de 3 m de comprimento e 0,2 m de largura. Também foi instalado uma calha de PVC com 3 metros de comprimento e 0,10 m de largura, mas essa calha foi ligada a um galão de 30 litros (Figura 3-6b).

A chuva interna também foi monitorada com pluviômetros feitos à mão (Figura 3-6c) consistindo de um funil de área de 195 cm<sup>2</sup> conectado por um orifício de 1 cm de diâmetro a um recipiente de 5 e 10 litros de volume.

Figura 3-6 Monitoramento da chuva interna da Parcela Peri 1: (a) Calha ligada ao pluviógrafo; (b) Calha ligada ao galão de 30 litros; (c) Pluviômetro e (d) Pluviômetros distribuídos na Parcela.



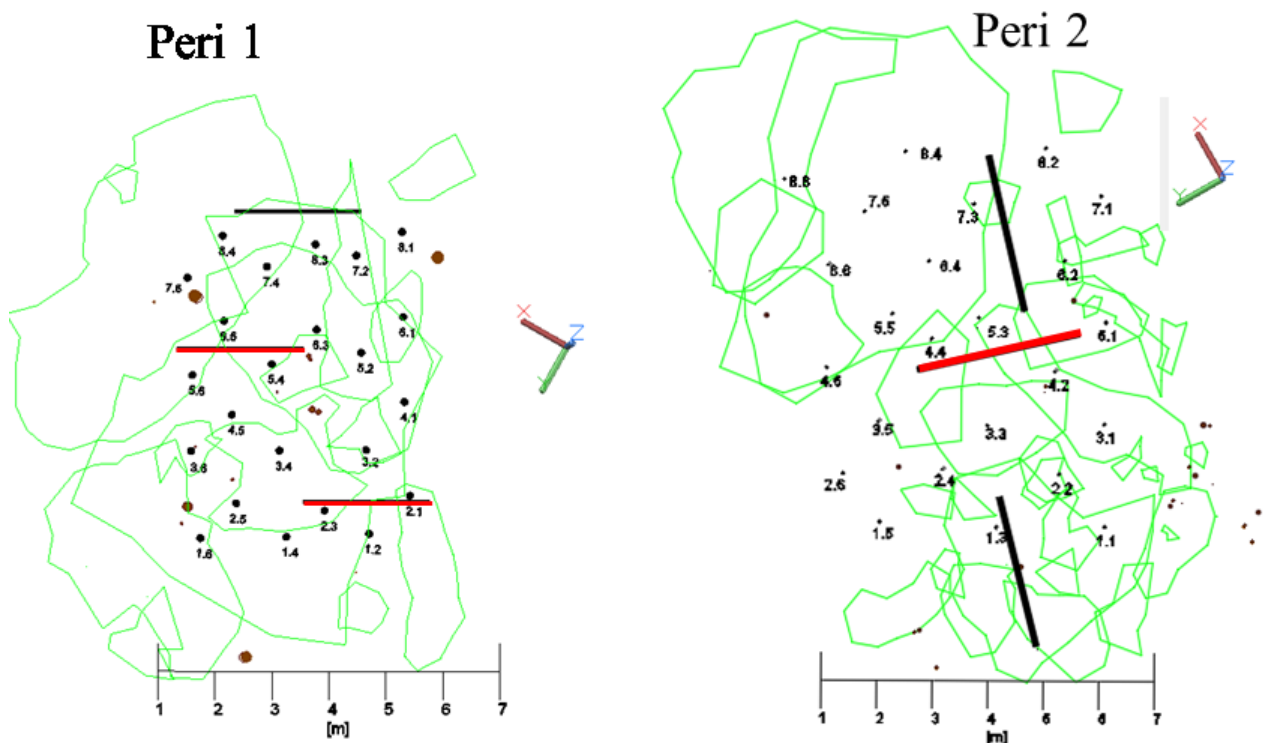
Em 22 de outubro de 2015, 17 pluviômetros (Figura 3-6c), foram instalados e distribuídos ao longo da Peri 1 que tem dimensão de 7x7 m<sup>2</sup> (Figura 3-6d). O monitoramento automático utilizando a calha foi instalado em 23 de fevereiro de 2016 e a calha com a coleta manual foi instalada em 17 de novembro de 2016. Em 16 de fevereiro de 2017 foram instalados mais 6 pluviômetros, aumentando a área da parcela para 9x7 m<sup>2</sup>. As medidas da chuva interna foram realizadas logo após o término do evento, junto com a coleta da chuva externa, conforme demonstrado na Tabela 3-1.

A parcela Peri 2 foi instalada encosta chamada Retiro, coberta por uma vegetação classificada como Floresta Atlântica avançada e denominada. Assim como a Peri 1, no monitoramento da chuva interna da Peri 2 foram utilizados dois tipos de dispositivos, pluviômetros e pluviógrafos (Figura 3-7). Os pluviômetros foram numerados de acordo com sua posição na parcela (Figura 3-8).

Figura 3-7 Monitoramento da chuva interna na Parcela Peri 2: (a) Calha ligada ao pluviógrafo; (b) Calha ligada ao galão de 30 litros; (c) Pluviômetro e (d) Pluviômetros distribuídos na Parcela



Figura 3-8 Configuração da distribuição espacial dos pluviômetros de chuva interna nas parcelas da bacia da Lagoa do Peri. Os círculos pretos preenchidos representam os medidores feitos à mão, os círculos vazios representam os troncos como DAP, as linhas contínuas representam as calhas, em vermelho o automático e os polígonos representam a projeção da copa das árvores.





Os pluviômetros foram numerados de acordo com sua posição na parcela, sendo que o primeiro número representa a linha e o número após o ponto sendo a coluna, a linha 1 é a mais de baixo, por exemplo, o ponto 1.2 está localizado na linha 1 e coluna 2 da parcela.

### 3.2.3 Escoamento pelo tronco

Na bacia da Araponga as espécies observadas nas duas parcelas foram: caixeta (*Tabebuia cassinoides*); cajujo (*Roupala montana*); camboatá (*Cupania vernalis*); canelaguiçá (*Ocotea puberula*); capororoca (*Myrsine*); cedro (*cedrus*); guamirim (*Myrcia rostrata*); jerivá (*Syagrus romanzoffiana*); maria-mole (*Dendropanax cuneatum*); pessegueiro-bravo (*Prunus myrtifolia*); vassourão-branco (*Piptocarpha angustifolia*); voadeira (*Conyza canadensis*); e xaxim-espinhento (*Cyathea phalerata*). Algumas árvores não foram identificadas.

As parcelas tiveram sua vegetação caracterizada pelo diâmetro na altura do peito (DAP), área da copa e espécies presentes. As duas parcelas da Araponga possuem densidade de árvores semelhante (39 e 36 indivíduos em 28 m<sup>2</sup>, respectivamente). A parcela Araponga 1 tem o DAP mais frequente na faixa de 1 a 3 cm. Os DAP são mais distribuídos no Araponga 2 e a média e mediana são maiores. O DAP nesta parcela está concentrado na faixa de 0 a 2 cm. A maioria das árvores em Araponga 1 possui DAP maior que 8 cm e também o maior dossel. Na parcela araponga 2 tem a maior parte do seu dossel menor que 1 m<sup>2</sup>, e seus maiores dosséis são de 17,9, 36 e 40,3 m<sup>2</sup>.

O monitoramento do escoamento pelo tronco foi realizado em 14 árvores, com a utilização de mangueiras de PVC, transparentes e flexíveis, de 3/4” e de 1/2” de diâmetro, cortadas a meia seção. Dez das árvores foram ligadas a garrafas PET para o armazenamento do volume do escoamento pelo tronco (Figura 3-9ab) e as outras 4 árvores foram ligadas ao pluviógrafo para o monitoramento da intensidade do escoamento (Figura 3-9d).

Figura 3-9 Monitoramento do escoamento pelo tronco na Bacia Araçá: (a) recipiente de armazenamento cheio; (b) recipiente de armazenamento; (c) coletor do tipo espiral; e (d) ligação das árvores para o pluviógrafo.



Na Tabela 3-2 são mostradas as características das árvores (DAP e  $A_{\text{copa}}$ ), os nomes das espécies e o tipo de coletor utilizado para o monitoramento.

Tabela 3-2 Características das árvores e coletores para medição de escoamento pelo tronco

<b>Parcela</b>	<b>T</b>	<b>Nome Científico</b>	<b>Coletor</b>	<b>DAP</b>	<b>Acopa</b>
Araponga 1	1	<i>Vernonanthura discolor</i>	Espiral	32	65
	2	<i>Vernonanthura discolor</i>	Espiral	22	37
	3	<i>Não identificada</i>	Colar	2.9	1.2
	4	<i>Prunus myrtifolia</i>	Espiral	13	18
	5	<i>Guapira opposita</i>	Espiral	18	44
			<b>Média</b>	<b>17</b>	<b>33</b>
Araponga 2	6	<i>Myrtaceae sp.2</i>	Colar	8.4	36
	7	<i>Tabebuia cassinoides</i>	Colar	1.9	0.4
	8	<i>Myrtaceae sp.2</i>	Espiral	23	40
	9	<i>Cupania vernalis Cambess</i>	Espiral	14	18
	10	<i>Myrsine coriacea</i>	Espiral	17	8.9
			<b>Média</b>	<b>13</b>	<b>21</b>

Na Bacia da Lagoa do Peri, o monitoramento do escoamento pelo tronco foi realizado em 35 árvores (15 na Peri 1 + 20 na Peri 2), com a utilização de garrafas cortadas, aplicação de massa adesiva epóxi e mangueiras de PVC transparentes e flexíveis (Figura 3-10abc). As árvores foram ligadas a garrafas PET que armazenam a água escoada pelo tronco (Figura 3-10d).

Figura 3-10 Escoamento pelo tronco. (a) Coletor ligado ao pluviógrafo; (b) Coletor do escoamento pelo tronco; (c) Armazenamento dos troncos menores e (d) Armazenamento dos troncos com maior volume.



As parcelas do escoamento pelo tronco tiveram sua vegetação caracterizada quanto ao DAP, área da copa, e espécies presentes. Na Tabela 3-3 e nas Figura 3-11 e Figura 3-12 são apresentadas as identificações das espécies encontrados nas duas parcelas da Lagoa do Peri e o monitoramento que foi realizado na árvore.

Tabela 3-3 Identificação das espécies encontradas nas parcelas do Peri.

Parcela	T	Nome científico	Coletor	DAP	Acopa	
Peri 1	1	<i>Ilex dumosa</i>	Colar	25	34	
	2	<i>Ilex teezans</i>	Colar	6.7	1.2	
	3	<i>Alchornea triplinervia</i>	Colar	22	10	
	4	<i>Ilex teezans</i>	Colar	3.5	1.1	
	5	<i>Ilex teezans</i>	Colar	6.4	0	
	6	<i>Ocotea pulchella</i>	Colar	4.8	0.3	
	7/8	<i>Ocotea pulchella</i>	Colar	15	4.7	
	9/10*	<i>Myrcia splendens</i>	Colar	11	12	
	11	<i>Eugenia astringens</i>	Colar	3.2	1.4	
	12	<i>Ilex dumosa</i>	Colar	8.9	1.2	
	13/14*	<i>Ocotea pulchella</i>	Colar	27	21	
	15	<i>Ilex teezans</i>	Colar	6	0.3	
	16	<i>Ilex teezans</i>	Colar	2.9	0.8	
	17	<i>Ocotea pulchella</i>	Colar	7.9	3.3	
	18	<i>Ilex teezans</i>	Colar	9.2	1.2	
				<b>Média</b>	<b>11</b>	<b>6.1</b>
	Peri 2	19	<i>Lonchocarpus sp.</i>	Colar	5.1	2.0
		20	<i>Lonchocarpus sp.</i>	Colar	5.4	3.2
21		<i>Lonchocarpus sp.</i>	Colar	4.8	1.6	
22		<i>Piper gaudichaudianum</i>	Colar	6.7	2.8	
23		<i>Piper gaudichaudianum</i>	Colar	6.4	3.2	
24		<i>Piper gaudichaudianum</i>	Colar	7.0	0.0	
25		<i>Cupania vernalis</i>	Colar	5.7	1.4	
26		<i>Cupania vernalis</i>	Colar	4.1	0.8	
27		<i>Cupania vernalis</i>	Colar	3.8	0.2	
28		<i>Cupania vernalis</i>	Colar	7.3	9.3	
29		<i>Cupania vernalis</i>	Colar	2.9	0.1	
30		<i>Cupania vernalis</i>	Colar	6.4	4.6	
31		<i>Cupania vernalis</i>	Colar	4.8	1.3	
32		<i>Lonchocarpus sp.</i>	Colar	4.8	1.7	
33		<i>Cupania vernalis</i>	Colar	3.2	0.8	
34		<i>Cupania vernalis</i>	Colar	8.0	2.2	
35		<i>Piper gaudichaudianum</i>	Colar	4.5	4.2	
36		<i>Piper gaudichaudianum</i>	Colar	6.7	3.5	
37		<i>Cecropia glaziovii</i>	Colar	11.8	1.0	
38		<i>Cecropia glaziovii</i>	Colar	15.0	3.1	
			<b>Média</b>	<b>6.2</b>	<b>2.4</b>	

\*Árvore com bifurcação

Figura 3-11 Monitoramento do escoamento pelo tronco da parcela Peri 1, troncos de 1 a 18.

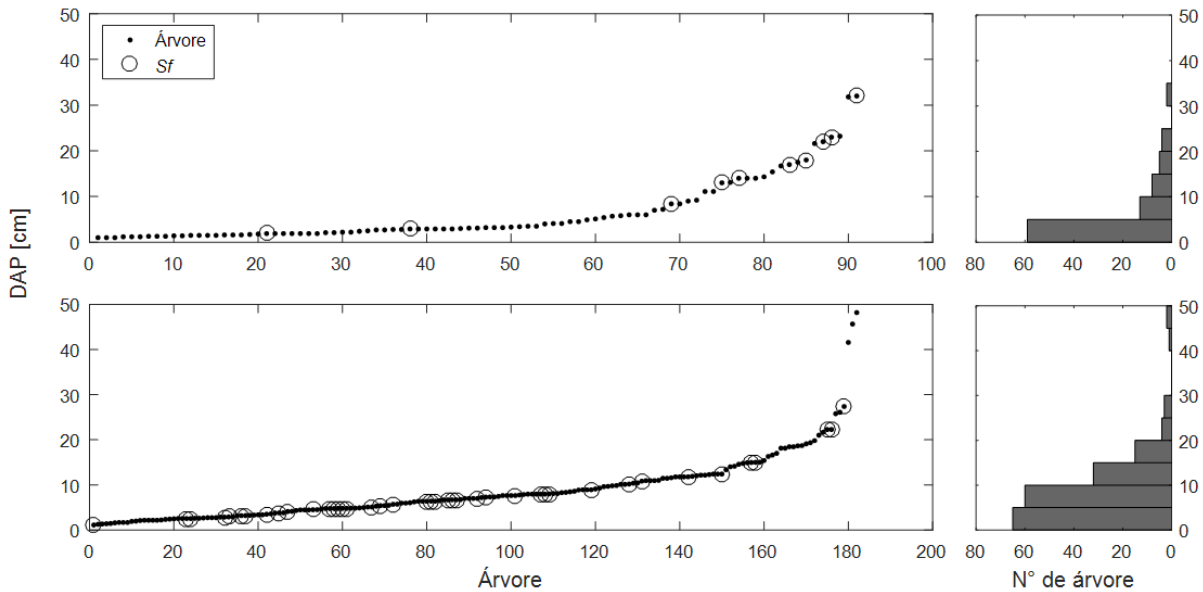


Figura 3-12 Monitoramento do escoamento pelo tronco da parcela Peri 2 troncos de 19 a 38



As áreas de estudo têm o DAP mais frequente na faixa de 0 a 5 cm (Figura 3-13). Observa-se que as árvores escolhidas para o monitoramento do escoamento pelo tronco estão distribuídas uniformemente entre as classes de diâmetro, as árvores escolhidas estão em uma parcela com área de 7x7 m<sup>2</sup>.

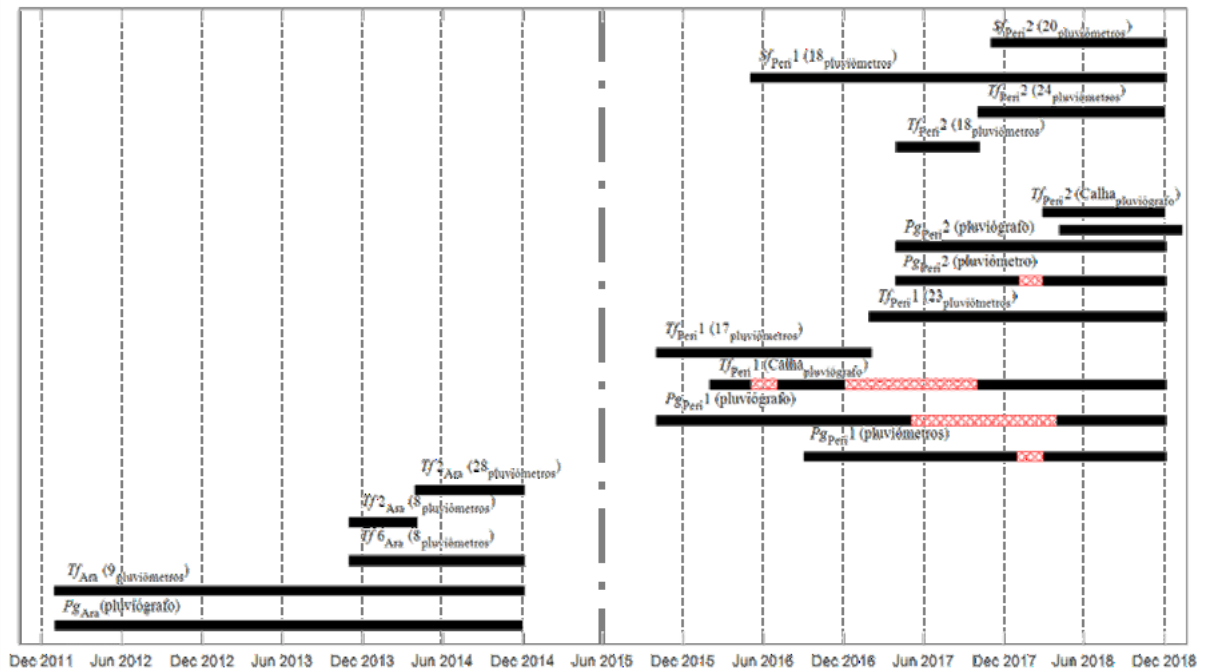
Figura 3-13 Distribuição das árvores de acordo com o diâmetro à altura do peito (DAP) e das árvores monitoradas do escoamento pelo tronco. (a) Bacia da Araçonga e; (b) Bacia Lagoa do Peri.



Na Figura 3-14 é mostrada a distribuição do monitoramento realizado nessa tese. Conforme pode ser verificado, não foi feito nenhum monitoramento no período de janeiro a outubro de 2015, pois nesse período estava sendo feita a transferência do monitoramento da Araçonga para a Lagoa do Peri.



Figura 3-14 Cronograma do monitoramento dos parâmetros de interceptação. Barra preenchida significa que ocorreu o monitoramento; Barra com hachurado em vermelho representa falha no monitoramento. A linha tracejada com ponto divide o monitoramento da araponga com a da lagoa do Peri.



### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DA VEGETAÇÃO

Dois índices foram calculados para caracterizar a cobertura da copa: o Índice de Cobertura do Dossel (do inglês *Canopy Cover Fraction* - CCF) e o Índice da Área Foliar (do inglês *Leaf Area Index* - LAI). Além disso, foram estimadas a capacidade de armazenamento da copa ( $Sc$ ), o coeficiente livre de chuva interna ( $pd$ ), a capacidade de armazenamento do tronco ( $St$ ), o coeficiente do escoamento pelo tronco ( $p$ ) e o coeficiente de drenagem da copa desviada para o tronco. Estes parâmetros são comumente usados em modelos de interceptação, para explorar sua relação com os índices de cobertura do dossel. Também foi estimado o número de copas sobrepostas em cada ponto de  $Tf$  e caracterizada toda a estrutura da copa (p.ex. altura da árvore, número total de galhos, projeção da área da copa e volume da copa).

#### 3.3.1 Cobertura da copa

O índice de cobertura da copa (CCF) e o índice de área foliar (LAI) foram estimados a partir de fotografias digitais tiradas em cada um dos medidores de  $Tf$ . As fotografias foram tiradas com duas câmeras: (i) uma câmera digital Canon PowerShot S5 IS que foi definida para uma resolução de 3264 x 3448 (Figura 3-15a). (ii) utilizando fotos hemisféricas com uma câmera digital Nikon, modelo D3300 acoplada a uma lente tipo “olho de peixe”, modelo AF Fisheye 16/2.8D.

Para cada fotografia, a câmera foi montada em uma plataforma nivelada colocada 25 cm acima da superfície do solo, com a lente colocada no ponto central do medidor e direcionada para o zênite (Figura 3-15b). Antes de tirar cada fotografia, a velocidade do obturador foi ajustada de acordo com as condições de luz para evitar informações devido à superexposição, seguindo Llorens and Gallart (2000).

Existem duas fontes principais de erro na estimativa de CCF e LAI da fotografia digital: (i) excesso de luz, mascarando a vegetação superior; e (ii) ligeiro deslocamento de uma imagem da posição das imagens restantes, enquadrando uma proporção maior ou menor de abertura do dossel do que as outras. Se o primeiro erro foi verificado, a imagem correspondente foi excluída da análise.

As fotografias foram convertidas em escala de cinza e em seguidas foram transformadas em imagens binárias, em preto e branco (Figura 3-15cd), onde os pixels pretos indicam a presença de cobertura vegetal (folhagem e galhos) e os pixels brancos indicam a abertura do dossel. Para evitar distorção radial, o círculo central de cada fotografia foi extraído com diâmetro igual a 50% da diagonal; em cada imagem cortada, os grandes intervalos entre as copas das árvores foram selecionados e o número total de pixels contidos nessas grandes lacunas foi contado. Os pixels restantes (representando a área de projeção da coroa) foram separados entre as lacunas dentro da coroa (pixels brancos remanescentes) e a cobertura vegetal (pixels pretos).

Figura 3-15 Fotografia do dossel. (a) Instalação da câmera na plataforma entre a vegetação. (b) Detalhe da câmera na plataforma nivelada. (c) Exemplos da foto do dossel. (d) Imagem binária correspondente a foto do dossel em (c).



A sensibilidade dos índices de cobertura do dossel ao tamanho do círculo extraído de cada fotografia foi analisada variando seu raio de 10 a 25% da diagonal em incrementos de 1%. O erro padrão foi então calculado como uma medida da variação dos valores dos índices

obtidos. Os valores finais de LAI e CCF utilizados neste estudo foram a média entre os índices obtidos.

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. Na Figura B-2 são mostrados os tamanhos dos diâmetros de cada foto.

Os pixels brancos ( $Nb$ ) representam a classe aberta (intervalos do dossel livres de vegetação) e os pixels pretos ( $Np$ ) representam a classe coberta (vegetação, folhas, galhos e troncos). Depois de classificados, os pixels foram contados e foi determinado, para cada fotografia, o índice de cobertura do dossel (Equação (3-1)).

$$CCF = 100 \cdot \frac{Np}{Np + Nb} \quad (3-1)$$

onde CCF é o índice de cobertura do dossel;  $Np$  é número de pixels pretos;  $Nb$  é número de pixels brancos.

O valor do LAI foi calculado considerando a diferença entre a área aberta dentro da copa (porosidade da copa) e a área aberta entre as árvores (PEKIN; MACFARLANE, 2009):

$$LAI = -\frac{f_c \ln(\Phi)}{k} \quad (3-2)$$

onde  $f_c$  é a cobertura da copa,  $\Phi$  é a porosidade da copa, e  $k$  é um coeficiente de extinção de luz no zênite, que foi assumido neste estudo como 0,5, como em Macfarlane et al. (2007). Como esse parâmetro altera apenas a magnitude do valor de LAI, e o foco deste trabalho está na sua variabilidade no tempo e no espaço, entende-se que a escolha desse valor não afeta as principais conclusões do estudo. O  $f_c$  é a relação entre a abertura entre as copas ( $g_L$ ) e o número total de pixels na foto ( $T_p$ ):

$$f_c = 1 - \frac{g_L}{T_p} \quad (3-3)$$

A porosidade da copa ( $\Phi$ ) é definida como a proporção da área da coberta da copa pela projeção vertical de folhagem e ramos dentro do perímetro das coroas de plantas individuais (WALKER; TUNSTALL, 1981):

$$\Phi = 1 - \frac{f_f}{f_c} \quad (3-4)$$

onde  $f_f$  é a fração da cobertura da folhagem, definida como a proporção da área coberta da copa pela projeção vertical de folhagem e galhos (fração de pixels pretos):

$$f_f = 1 - \frac{g_T}{T_p} \quad (3-5)$$

onde  $g_T$  é o número de pixel que representa abertura da copa (número total de pixels branco).

Para evitar distorção radial, o círculo central de cada fotografia foi extraído com diâmetro igual a 45% da diagonal. A análise de erro das fotografias foi classificada em 15 seções diferentes, diminuindo para 10% o corte diagonal de cada foto. Este processo foi executado para reduzir o erro no cálculo do LAI. A fim de analisar a sensibilidade dos índices calculados ao tamanho deste círculo, foram testados 16 valores de raio diferentes, variando de 25% a 10% da diagonal da foto (Figura B-2). O erro padrão (S.E.) foi então calculado como uma medida da variação dos valores dos índices obtidos.

O erro na medição do parâmetro da copa foi calculado a partir da distribuição da captura. O erro padrão (S.E.) é uma estimativa da variação estatística.

$$\text{S.E.} = \sqrt{\frac{\sum_{s=1}^m \sum_{i=1}^n y_{is}^2}{(n_y - 1)n_y}} \quad (3-6)$$

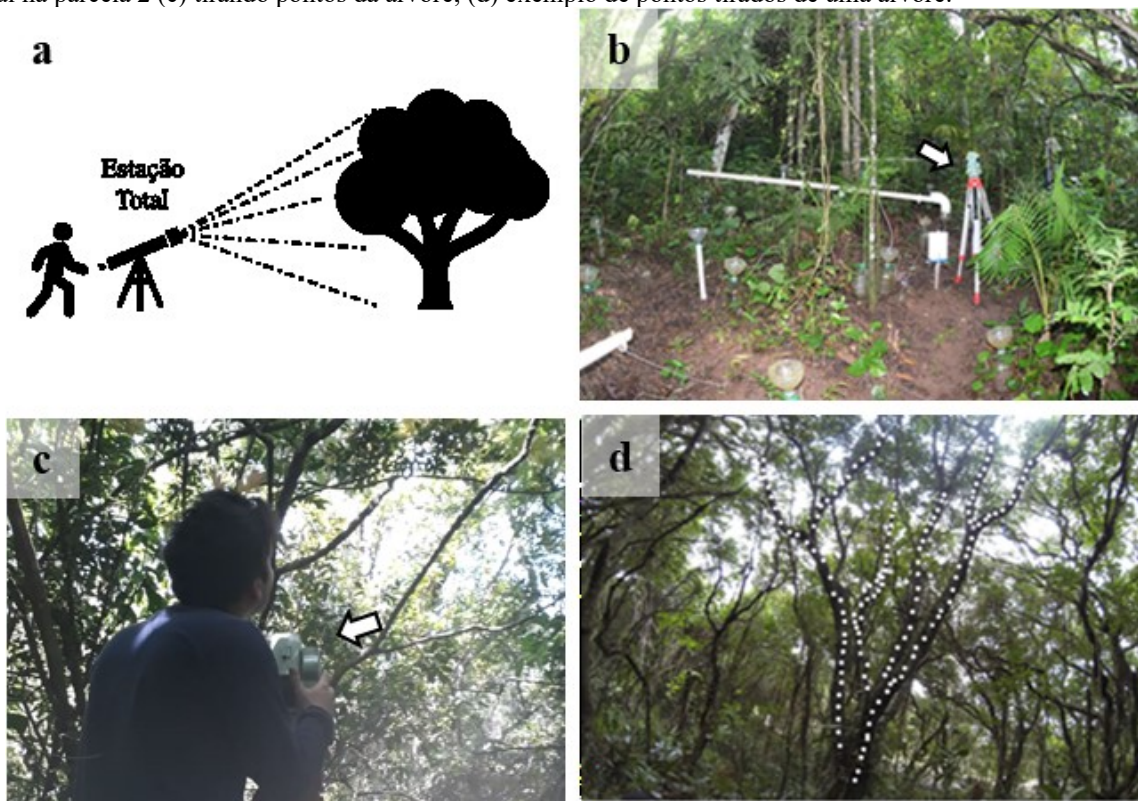
onde  $s$  é o número da série;  $i$  é o número do ponto na série  $s$ ;  $m$  é o número de séries para o ponto  $y$ ;  $n$  é o número de pontos em cada série;  $y_{is}$  é o valor de dados da série;  $s$  e o ponto  $i$ ; e  $n_y$  é o número total de valores de dados em todas as séries.

A variação média do LAI no tempo foi estimado em cada pluviômetro de  $Tf$  a partir de círculos extraídos das fotografias digitais com raio variando entre 10 e 25% da diagonal. A escolha do tamanho do círculo extraído de cada fotografia pode resultar em uma alta variação nos valores de LAI. Portanto, na análise para cada pluviômetro de  $Tf$ , usamos a média entre os índices obtidos.

### 3.3.2 Estrutura das árvores

Durante o ano de 2018 foi realizada a caracterização da estrutura das árvores. Foi utilizada uma Estação Total Leika TPS400 (Figura 3-16a e b) para caracterizar as ramificações de todas as árvores localizadas nas parcelas da Lagoa do Peri. O procedimento foi realizado calculando as coordenadas e altitude de vários pontos em todas as ramificações de cada árvore (Figura 3-16c). Foram registrados 1721 pontos das 15 árvores localizadas na parcela Peri 1 e 1503 pontos das 20 árvores da parcela Peri 2 (Figura 3-16d).

Figura 3-16 Caracterização da estrutura da árvore: (a) croqui do procedimento de dados; (b) instalação da estação total na parcela 2 (c) tirando pontos da árvore; (d) exemplo de pontos tirados de uma árvore.



Foram medidos o diâmetro na altura do peito, a altura das árvores ( $H$ , m), a relação altura/largura da copa ( $HWR$ , sem dimensão), circunferência da copa ( $C_{Copa}$ , m), a área da copa ( $A_{Copa}$ ,  $m^2$ ), a área dos galhos ( $A_{Tronco}$ ,  $m^2$ ), volume da copa ( $V_{copa}$ ,  $m^3$ ), volume do tronco ( $V_{Tronco}$ ,  $m^3$ ), número de galhos primários ( $PBc$ ,  $n^\circ$ ), número de bifurcações ( $SBc$ ,  $n^\circ$ ), ângulo de interseção da primeira bifurcação onde  $90^\circ$  representa um tronco reto ( $AIF$ , ângulo), diâmetro da copa ( $D_{copa}$ , m), comprimento do tronco principal ( $C_{Tronco}$ , m), comprimento dos galhos ( $C_{galhos}$ , m), altura da primeira bifurcação ( $H_{ic}$ , m) e a inclinação média de todos os galhos de cada uma das árvores ( $A_{médio}$ , ângulo), conforme demonstrado na (Figura 3-17ab).

As Figura 3-18 e Figura 3-19 apresentam os croquis das estruturas das árvores da Peri 1. Pode-se observar a densidade dos galhos em cima dos pluviômetros (círculos pretos).

Figura 3-17 Caracterização da estrutura da árvore: (a) exemplo de pontos tirados de uma árvore; (b) exemplo dos cálculos das variáveis das estruturas. Os polígonos verdes representam a projeção da copa ( $A_{copa}$ ). As linhas marrons representam os troncos das árvores.

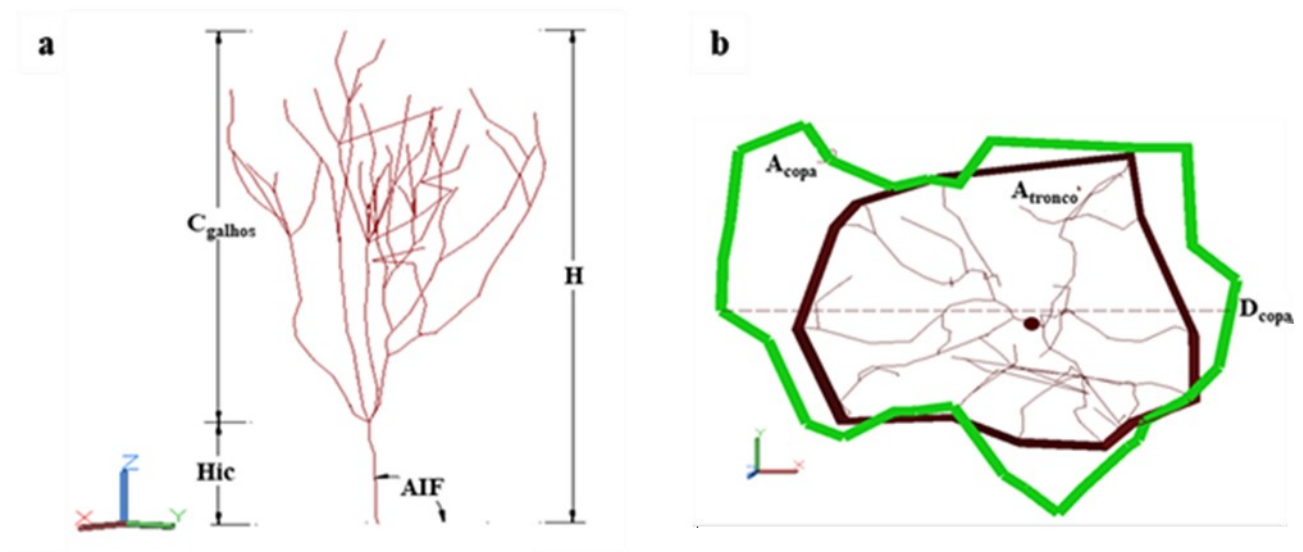


Figura 3-18 Diagrama da estrutura da árvore da Peri 1. Os polígonos verdes representam a projeção da copa (PCA). As linhas marrons representam os galhos e tronco das árvores. Os círculos pretos numerados são os pluviômetros e os círculos maiores não numerados são os troncos.

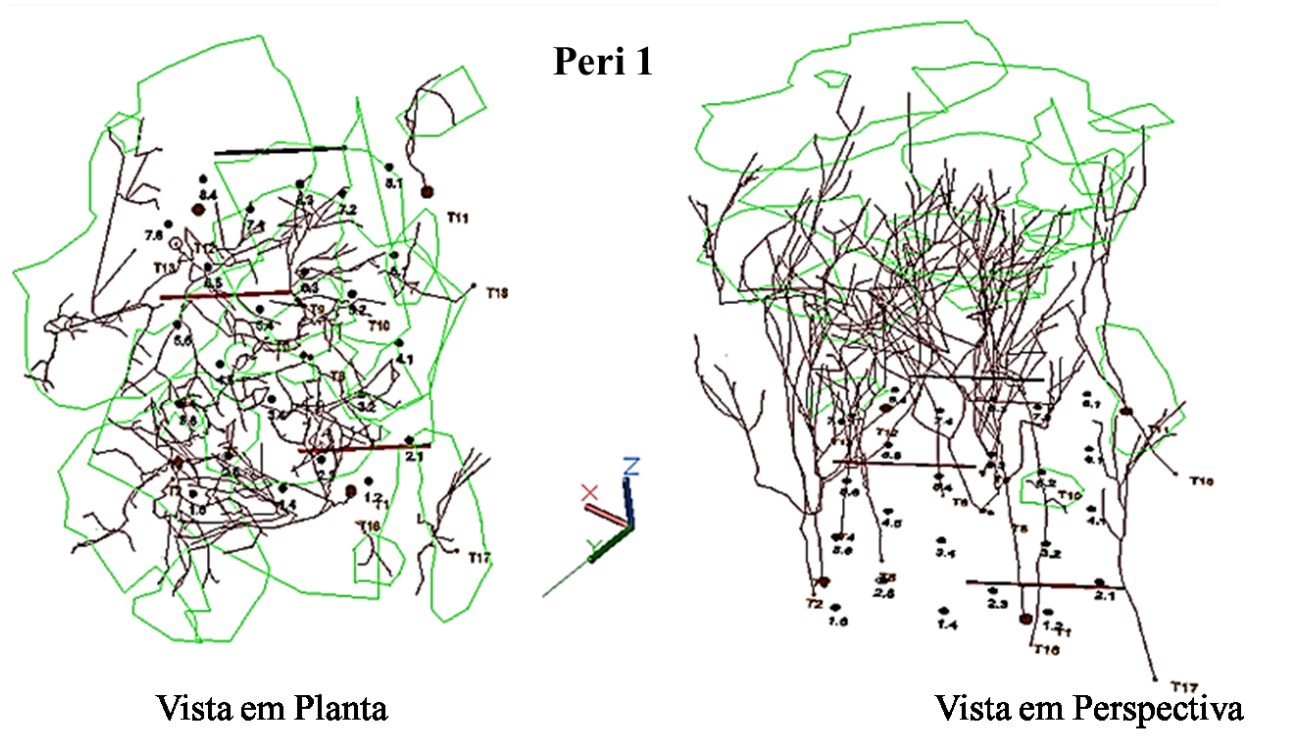
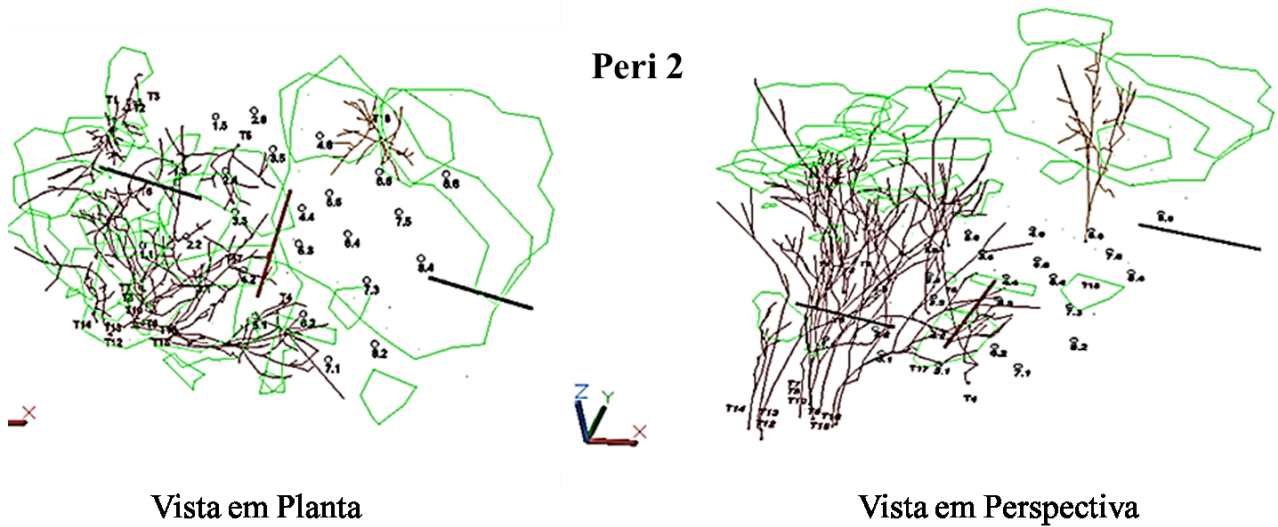


Figura 3-19 Diagrama da estrutura da árvore da Peri 2. Os polígonos verdes representam a projeção da copa (PCA). As linhas marrons representam os galhos e tronco das árvores. Os círculos pretos numerados são os pluviômetros e os círculos maiores não numerados são os troncos.



O diâmetro na altura do peito (DAP) foi calculado a partir do perímetro da árvore, utilizando uma fita métrica para medir a circunferência da árvore (CAP). O diâmetro é obtido pela seguinte equação

$$DAP = \frac{CAP}{\pi} \quad (3-7)$$

A área basal do Tronco ( $A_{Basal}$ ) foi calculada a partir do DAP, sendo necessário somente o raio do tronco da árvore na altura do peito:

$$A_{basal} = \pi \cdot \left(\frac{DAP}{2}\right)^2 \quad (3-8)$$

No cálculo do volume da copa foi considerado apenas o volume onde tem vegetação, o cálculo do volume da copa ( $V_{copa}$ ) foi:

$$V_{copa} = A_{copa} \cdot (H - Hic) \quad (3-9)$$

onde  $A_{copa}$  é a área projetada da copa em  $m^2$ ;  $H$  é a altura da árvore em m e  $Hic$  é altura da inserção da copa, ou seja, a altura da primeira bifurcação da árvore.

O volume dos galhos foi considerado apenas o volume dos galhos que tem vegetação, conforme demonstrado na equação (3-10):

$$V_{galhos} = A_{galhos} \cdot (H - Hic) \quad (3-10)$$

onde  $A_{galhos}$  é a área projetada dos galhos em  $m^2$ ;  $H$  é a altura da árvore em  $m$  e  $H_{ic}$  é altura da inserção da copa, ou seja, a altura da primeira bifurcação da árvore.

O diâmetro da copa foi considerado como o diâmetro da área circular da projeção da copa.

$$D_{copa} = \sqrt{\frac{A_{copa}}{\pi}} \cdot 2 \quad (3-11)$$

O volume da copa em relação aos galhos foi estimado considerando o comprimento total do tronco da árvore com a área projetada dos ramos/galhos,  $A_{Galhos} \cdot T_{le}$ . Na Tabela 3-4 estão descritos os parâmetros das árvores utilizados nesse trabalho e os autores que utilizaram esses parâmetros.

### 3.4 PADRÕES DE ESTABILIDADE TEMPORAL E ESPACIAL

O método de "persistência no tempo" descrito por Vachaud e Desilans (1985). Góme, Girálde e Fereres (2001) aplicaram esse método aos dados de armazenamento de água no solo, mas também pode ser aplicado à chuva interna, escoamento pelo tronco ou outros dados espaciais. Para  $m$  períodos e  $n$  localizações, o método calcula a média temporal ( $\bar{j}\delta$ ) e o desvio padrão da diferença relativa ( $\delta_{t,j}$ ) de uma variável ( $S_{t,j}$ ,  $t =$  tempo,  $j =$  localização):

$$\delta_{t,j} = \frac{S_{t,j} - \bar{I}C_t}{\bar{I}C_t} \quad (3-12)$$

$$\bar{I}C_t = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n I_{C_{t,j}} \quad (3-13)$$

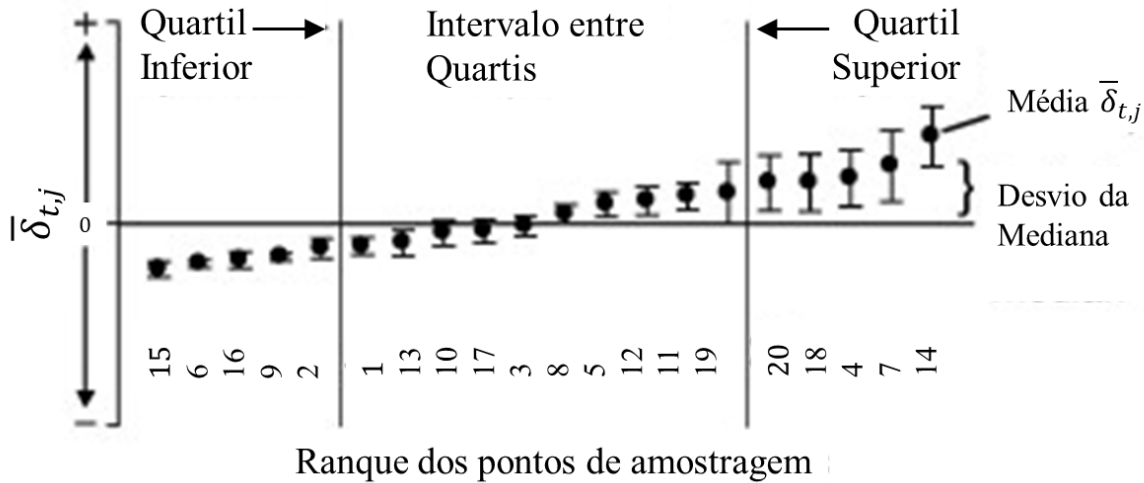


Tabela 3-4 Descrição dos parâmetros da árvore.

<b>Parâmetro</b>	<b>Siglas</b>	<b>Unidade</b>	<b>Referências</b>
Circunferência do tronco	T <sub>Cir</sub>	m	Manfroi et al., 2006
Diâmetro do tronco na altura do peito	DAP	m	Manfroi et al., 2006
Área basal	A <sub>Basal</sub>	m <sup>2</sup> /ha	Manfroi et al., 2006
Altura da árvore	H	m	Levia et al., 2015
Relação altura/largura da copa	HWR	m	Carlyle-Moses and Schooling, 2015
Circunferência da copa	C <sub>Circ</sub>	m	Manfroi et al., 2006
Área projetada pela copa	A <sub>Copa</sub>	m <sup>2</sup>	Carlyle-Moses and Schooling, 2015
Área projetada do tronco e galhos	A <sub>Tronco</sub>	m <sup>2</sup>	Carlyle-Moses and Schooling, 2015
Volume da copa	V <sub>copa</sub>	m <sup>3</sup>	Carlyle-Moses and Schooling, 2015
Volume do tronco	V <sub>Tronco</sub>	m <sup>3</sup>	Carlyle-Moses and Schooling, 2015
Contagem de galhos primários	PBc	n <sup>o</sup>	Levia et al., 2015
Contagem de galhos secundários	PBs	n <sup>o</sup>	Levia et al., 2015
Total de galhos	TBc	n <sup>o</sup>	Levia et al., 2015
Ângulo de intersecção da árvore	AIF	deg	Levia et al., 2015
Volume da copa em relação aos galhos	Vol <sub>galhos</sub>	m <sup>2</sup>	Manfroi et al., 2006
Diâmetro da copa	D <sub>Copa</sub>	m	Manfroi et al., 2006
Comprimento do tronco	T <sub>Tronco</sub>	m	Carlyle-Moses and Schooling, 2015
Altura da copa	Lc	m	Carlyle-Moses and Schooling, 2015
Altura dos galhos	Lb	m	Carlyle-Moses and Schooling, 2015
Altura de inserção da copa	Hic	m	Carlyle-Moses and Schooling, 2015

Quando classificado de menor para maior, o  $S_{i,j}$  fornece uma boa representação visual do desvio relativo de uma variável da média da plotagem nos vários locais  $j$  dentro de uma plotagem média ao longo do tempo. Locais à esquerda de tal gráfico ( $j\delta < 0$ ) estão abaixo da média de plotagem média de tempo e as localizações no lado direito ( $j\delta > 0$ ) estão acima da média, conforme é demonstrado na Figura 3-20.

Figura 3-20 Características de um gráfico de estabilidade temporal. Os pontos de amostragem são classificados da média mínima à máxima. As barras indicam intervalos de confiança de 95%. Os pontos de dados pertencentes ao quartil inferior ou superior são considerados extremos, desde que seus intervalos de confiança não se sobreponham à linha mediana. Os pontos de dados que se enquadram no intervalo interquartil, mas com intervalos de confiança que não incluem a mediana são considerados geralmente persistentes, enquanto aqueles com intervalos de confiança que incluem a mediana não são persistentes.



Fonte: Tradução do (ZIMMERMANN et al., 2008)

A persistência no tempo de distribuição espacial pela chuva interna foi investigada através de um gráfico de estabilidade de tempo, mesmo método usado em muitos outros estudos de interceptação (e.g. Gómez et al., 2001; Germer et al., 2005; Keim et al., 2005; Manfroi et al., 2006; Shachnovich et al., 2008; Zimmermann et al., 2008; Gerrits et al., 2010). Seguindo este método, a chuva interna em cada pluviômetro de  $Tf$  é normalizada para cada período de medição,

$$\delta_{t,j} = \frac{Tf_{t,j} - \overline{Tf}_t}{\sigma_t} \quad (3-14)$$

onde  $\delta_{t,j}$  é a chuva interna normalizada no tempo  $t$  para o pluviômetro  $j$ ,  $Tf_{t,j}$  é a chuva interna medida no pluviômetro  $j$  no tempo  $t$ ,  $\overline{Tf}_t$  é a chuva interna médio de todos os pontos no tempo  $t$  e  $\sigma_t$  é o desvio padrão. No gráfico de estabilidade de tempo, os medidores são classificados em ordem crescente de chuva interna normalizada (Equação (3-15))

$$\bar{\delta}_j = \frac{1}{d} \sum_{i=1}^d \delta_{t,j} \quad (3-15)$$

onde  $\bar{\delta}_j$  é a média da chuva interna normalizada para o pluviômetro  $j$ , e  $d$  é o número de períodos de medição. O mesmo método também foi utilizado para o escoamento pelo tronco.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISES DOS DADOS DE CAMPO E CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE INTERCEPTAÇÃO

Foram utilizados dois tipos de instrumentos para monitoramento do processo de interceptação: pluviógrafo e pluviômetros caseiros (ver seção 3.2). Para que estes dados sejam validados, é necessário que as medidas de chuva obtidas com os pluviômetros e com o pluviógrafo sejam comparáveis e compatíveis. Para verificar essa hipótese, as leituras do pluviômetro instalado ao lado do pluviógrafo foram comparadas com os registros do pluviógrafo para os mesmos períodos (Figura 4-2 e Tabela A-2).

Como essas análises já foram realizados na bacia da Araponga (GIGLIO, 2013; OLIVEIRA, 2014; SÁ, 2015), nessa tese iremos mostrar as análises da Bacia da Lagoa do Peri. As descrições de cada evento e período de monitoramento são apresentadas no Apêndice A.

Os períodos foram caracterizados quanto a: número de dias do período, número de eventos, volume acumulado de chuva no período ( $P_g$ ) e média das parcelas da chuva interna e escoamento pelo tronco.

Para validar os períodos monitorados do processo de interceptação ( $P_g$ ,  $T_f$  e  $S_f$ ), foi utilizada a diferença relativa (Equação (4-1)) dos equipamentos monitorados (automático e manual). Foram considerados diferença de até 0,3, acima desse valor os dados foram analisados e comparados com a outra parcela e em seguida deletados.

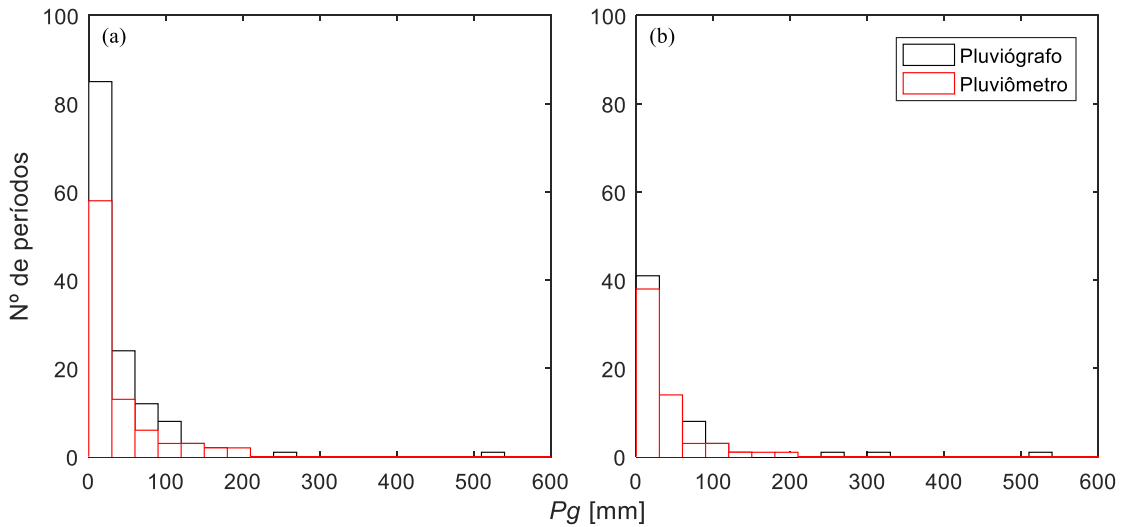
$$e_{\text{período}} = 1 - \frac{\text{Min}[\text{Man}_{\text{período}}, \text{Aut}_{\text{período}}]}{\text{Max}[\text{Man}_{\text{período}}, \text{Aut}_{\text{período}}]} \quad (4-1)$$

onde,  $e_{\text{período}}$  é a diferença relativa entre a medição do pluviômetro ( $\text{Man}_{\text{período}}$ ) e do pluviógrafo ( $\text{Aut}_{\text{período}}$ ) para cada período;

#### 4.1.1 Chuva externa

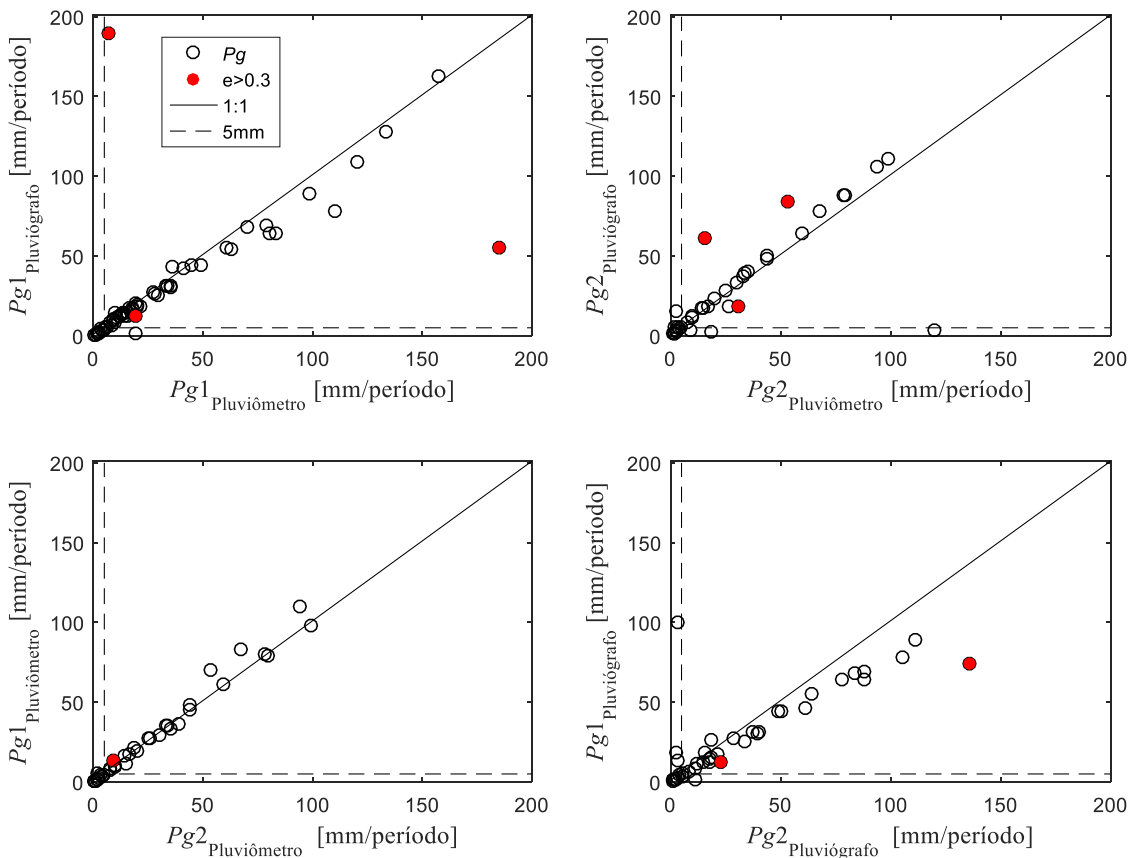
A chuva externa durante o monitoramento somou aproximadamente 5.378 mm distribuídos em 138 períodos de coleta de campo e mais de 330 eventos. A distribuição dos volumes da chuva externa em cada período e as características da chuva externa nos períodos monitorados são apresentadas na Figura 4-1 e na Tabela A-2, respectivamente. Observa-se que o maior número de observações aconteceu entre os intervalos 0 e 30 mm.

Figura 4-1 Histograma da chuva externa na bacia lagoa do Peri: (a) Parcela 1; (b) Parcela 2.



Com exceção de alguns períodos de monitoramento (círculos vermelhos), as medidas do pluviômetro e do pluviógrafo são equivalentes (se aproximam da linha contínua 1:1), conforme é mostrado na Figura 4-2. Portanto, os valores que obtiveram o erro relativo menor que 30 % são válidos para utilizar as alturas de chuva externa obtidas com pluviógrafo para comparar com alturas de chuva interna obtidas com pluviômetros caseiros.

Figura 4-2 Comparação entre os coletores de chuva externa das duas parcelas de monitoramento. A linha contínua em preto representa a relação 1:1.



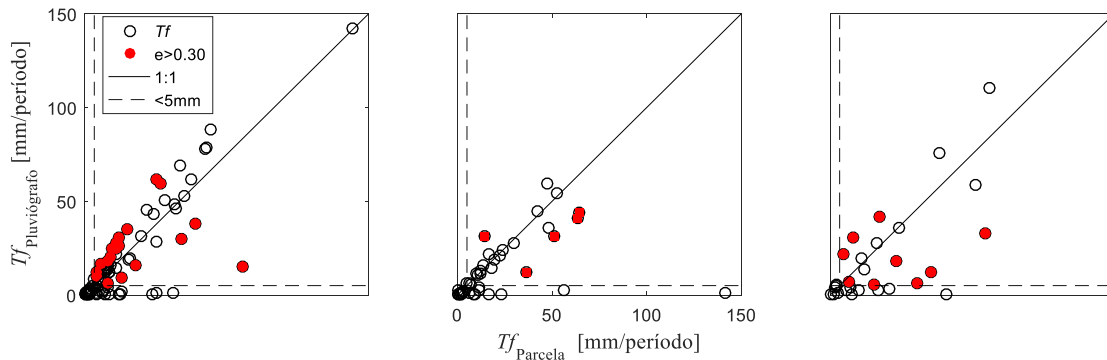
#### 4.1.2 Chuva interna e escoamento pelo tronco

Na estimativa da chuva interna, foi considerada a somatória do volume monitorado de cada pluviômetro, dividida pela área de captação do pluviômetro. A chuva interna da parcela foi considerada como a média de todos os pluviômetros que foram medidos naquele período.

$$Tf_{mm}(h) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n(h)} \frac{Tf_{L(i)}}{A_{Pluv(i)}} \quad (4-2)$$

onde,  $Tf_{mm}$  é a altura da chuva interna da parcela  $h$ ;  $Tf_L$  é o volume do pluviômetro ( $i$ ) da parcela  $h$ ;  $A_{Pluv}$  é a área do pluviômetro ( $m^2$ ) e  $n$  é o número de pluviômetros da parcela.

Figura 4-3 Comparação entre os coletores de chuva interna das duas parcelas de monitoramento. (a) Calha 1 da Parcela 1; (b) Calha 2 da Parcela 1; (c) Calha 1 da Parcela 2.



O volume do escoamento pelo tronco foi medido no mesmo período da chuva interna. A partir desses volumes, a altura de escoamento pelo tronco gerada em cada período foi estimada como a soma dos volumes de escoamento pelo tronco de todas as árvores do Parcela, dividido pela área da Parcela Eq.(4-3):

$$Sf_{parcela} = \frac{\sum Sf_L}{A_{Parcela}} \quad (4-3)$$

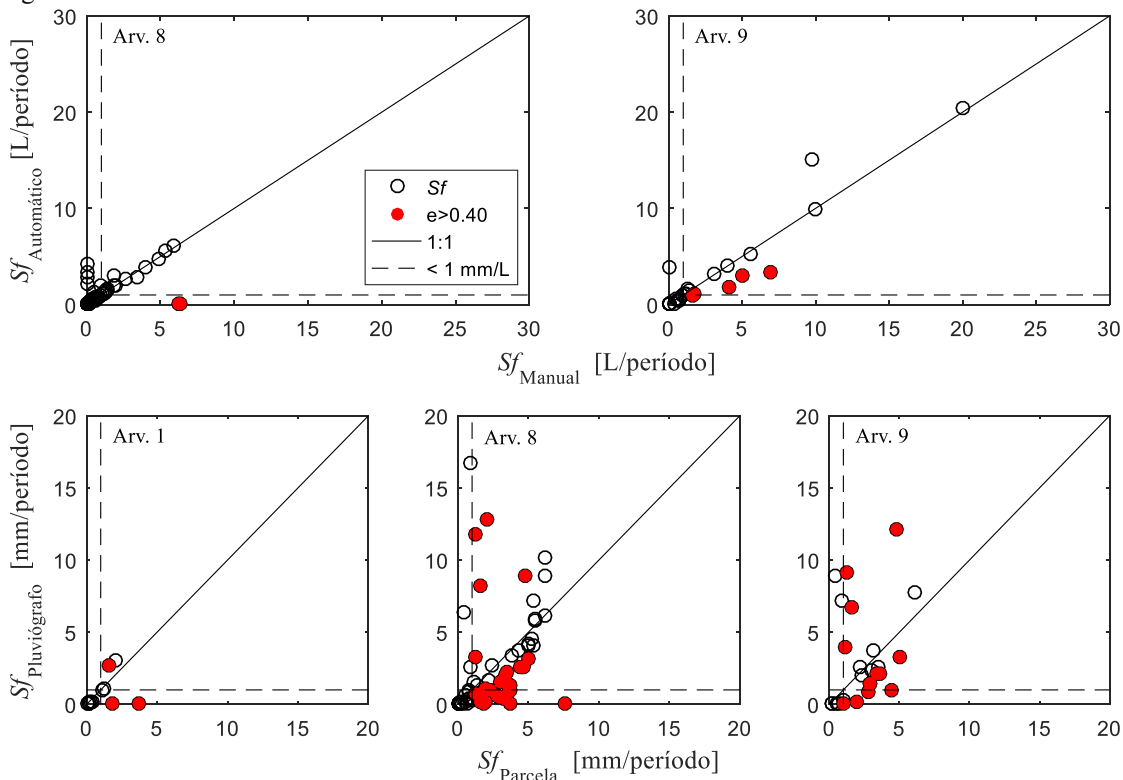
onde,  $Sf_{parcela}$  é a altura do escoamento pelo tronco da Parcela;  $Sf_L$  é o volume de escoamento pelo tronco do Parcela;  $A_{Parcela}$  é a área da parcela ( $m^2$ ).

Outro método foi a soma dos volumes de escoamento pelo tronco de todas as árvores da Parcela, dividido pela área da copa Equação (4-4):

$$Sf_{copa} = \frac{\sum Sf_L}{\sum A_{Copa}} \quad (4-4)$$

onde,  $Sf_{copa}$  é a altura do escoamento pelo tronco da Parcela;  $Sf_L$  é o volume de escoamento pelo tronco do Parcela;  $A_{copa}$  é a área da copa do tronco medido ( $m^2$ ).

Figura 4-4 Comparação entre os coletores de escoamento pelo tronco da Peri 1, entre o volume coletado pelo pluviômetro com volume do armazenamento.



A taxa de afunilamento do escoamento pelo tronco ( $Sf_{FR}$ ), desenvolvida por Herwitz (1986) é um parâmetro que pode ser usado para analisar o fluxo de água do tronco até o caule. O  $Sf_{FR}$  é uma facilidade da contribuição das áreas de dossel periféricas para a geração do escoamento pelo tronco e foi estimado pela Equação (4-5):

$$Sf_{FR} = \frac{Sf_L}{A_{Basal} \cdot Pg} \quad (4-5)$$

onde,  $Sf_{FR}$  é a taxa de afunilamento,  $Sf_L$  é o volume coletado do escoamento pelo tronco (litros),  $A_{Basal}$  é a área basal da árvore ( $m^2$ ), e  $Pg$  é a altura equivalente da chuva externa (mm).

A quantidade de água interceptada na copa, incluindo folhas, ramos e caules, foi avaliada pela seguinte equação do balanço hídrico:

$$Ic = Pg - (Tf + Sf) \quad (4-6)$$

onde  $Pg$  é a chuva externa,  $Tf$  é a chuva interna e  $Sf$  é o escoamento pelos troncos.

### 4.1.3 Parâmetros da vegetação

Dois índices foram calculados com fotografias da copa (Figura 3-15) para caracterizar a cobertura da copa: o Índice de Cobertura do Dossel (CCF) e o Índice da Área da Foliar (LAI). Além disso, foram estimados capacidade de armazenamento do dossel ( $Sc$ ), coeficiente de queda livre ( $p$ ), fator de cobertura ( $c$ ), capacidade de armazenamento do tronco ( $St$ ) e proporção de água desviada da copa para o tronco ( $pd$ ), parâmetros comumente usados em modelos de interceptação, para explorar sua relação com os índices de cobertura do dossel.

O cálculo dos parâmetros da interceptação foi dividido em 3 etapas: (i) para toda as parcelas; (ii) somente o monitoramento automático; e (iii) e utilizando o monitoramento manual. Também foi estimado o número de copas sobrepostas em cada ponto de  $Tf$  e caracterizada toda a estrutura da copa (altura da árvore, número total de galhos, projeção da área da copa e volume da copa).

No cálculo da  $Sc$ ,  $St$ ,  $p$  e  $pd$  foram utilizados os dados de monitoramento com pluviômetro (por período), foi necessário repartir o total de chuva interna registrado em cada período entre os eventos nele contidos, para que cada ponto nos gráficos de  $Tf$  e  $Sf$  em função de  $Pg$  representasse um evento, e não o total associado a um período.

Para cada evento, foi calculada a proporção do total de chuva externa do evento (obtida a partir do monitoramento automático com pluviógrafo) em relação ao total de chuva externa do período:

$$F_{P_{evento}} = \frac{\sum P_{g_{evento}}}{P_{g_{periodo}}} \quad (4-7)$$

onde  $F_{P_{evento}}$  é o fator de chuva externa para o cálculo da chuva interna em cada evento do período;  $P_{g_{evento}}$  é o total de chuva externa do evento obtido por meio do monitoramento automático com pluviógrafo (mm); e  $P_{g_{periodo}}$  é o total de chuva externa do período em que o evento se encontra (mm).

Assumindo que a de chuva interna é constante independentemente da característica do evento. A chuva interna para cada evento foi então calculada conforme equação a seguir:

$$Tf_{evento} = F_{P_{evento}} \times Tf_{periodo} \quad (4-8)$$

sendo  $Tf_{evento}$  a chuva interna estimada para o evento (mm); e  $Tf_{periodo}$  o total de chuva interna do período obtido a partir do monitoramento com os pluviômetros (mm).

O escoamento pelo tronco para cada evento foi então calculado conforme equação a seguir:

$$Sf_{evento} = F_{P_{evento}} \times Sf_{periodo} \quad (4-9)$$

sendo  $Sf_{evento}$  escoamento pelo tronco estimada para o evento (mm); e  $Sf_{periodo}$  o total de escoamento pelo tronco do período obtido a partir do monitoramento com os pluviômetros (mm).

A estimativa da capacidade de armazenamento da copa e do coeficiente de queda livre em cada ponto da  $Tf$  requer dados baseados em eventos, o mesmo ocorre para a estimativa da capacidade de armazenamento do tronco e a proporção de água desviada para o tronco com o escoamento pelo mesmo. Por esse motivo, separei as séries temporais de chuvas continuamente registradas em eventos de chuva externa considerando um tempo mínimo entre os eventos de 12 horas. Esse valor de 12 horas foi escolhido, pois, em geral, esse período é suficiente para o dossel secar entre os eventos.

#### 4.1.4 Estimativa da capacidade de armazenamento da copa e coeficiente de chuva interna livre

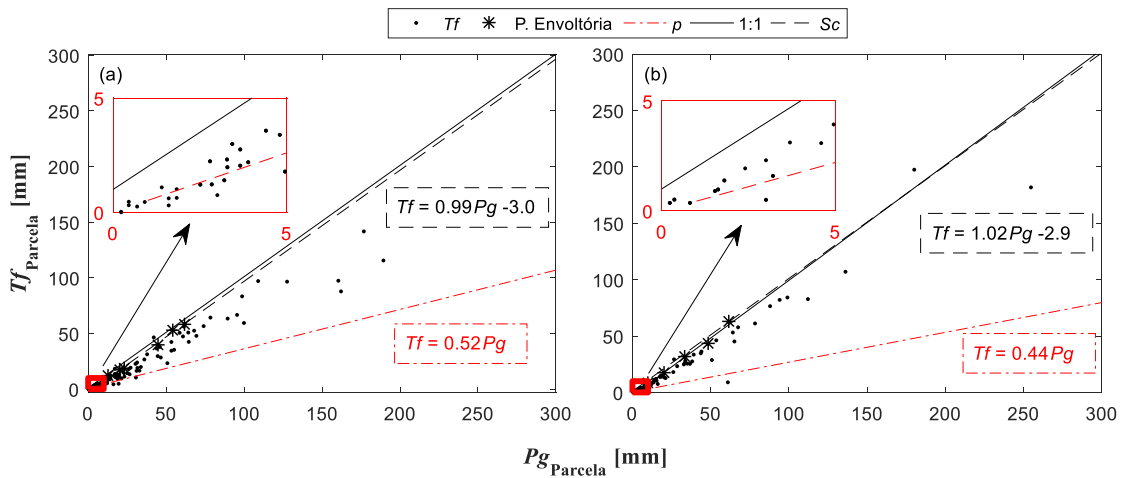
A estimativa da capacidade de armazenamento da copa ( $Sc$ ) e do coeficiente de chuva interna livre ( $p$ ) foi realizada utilizando-se um gráfico de dispersão dos valores de chuva externa e chuva interna (Leyton et al. 1967). A inclinação da linha de regressão entre  $Pg$  e  $Tf$  para eventos de chuva abaixo de um certo valor limite (o ponto de inflexão do gráfico de dispersão) é equivalente a  $p$  ou  $1 - c$ , em que  $c$  representa a cobertura do dossel (PITMAN, 1989). O ponto de inflexão dos dados fica aproximadamente em 5 mm, que é o valor necessário para saturar a copa. A  $Sc$  foi estimada como o intercepto negativo da linha de regressão desenhada usando apenas pontos do limite superior do gráfico de dispersão, que são eventos com evaporação mínima.

Nos pontos de monitoramento da  $Tf$  na Bacia Araponga, os valores de  $p$  e  $Sc$  são mostrados no Apêndice E (Figura E-11) e foram calculados por Sá (2015) e Sá et al. (2015).

Nas parcelas da Lagoa do Peri, a curva para  $Sc$  foi desenhada em envelopes de pontos, equivalente a condições mínimas de evaporação. A estimativa de  $Sc$  foi feita usando 3 pontos ou mais para a curva de envelope. Na Figura E-12 são apresentados os valores calculados para cada pluviômetro inseridos dentro da parcela (Apêndice E). Conforme é mostrado na Figura 4-5, os valores das duas parcelas foram de 3 mm e a cobertura da copa foi diferente entre as parcelas, sendo a parcela Peri 1 (0,52) maior que a Peri 2 (0,44).



Figura 4-5 Relação entre chuva interna e chuva externa para o cálculo da  $Sc$  e  $p$  das parcelas: (a) Peri 1; (b) Peri 2.

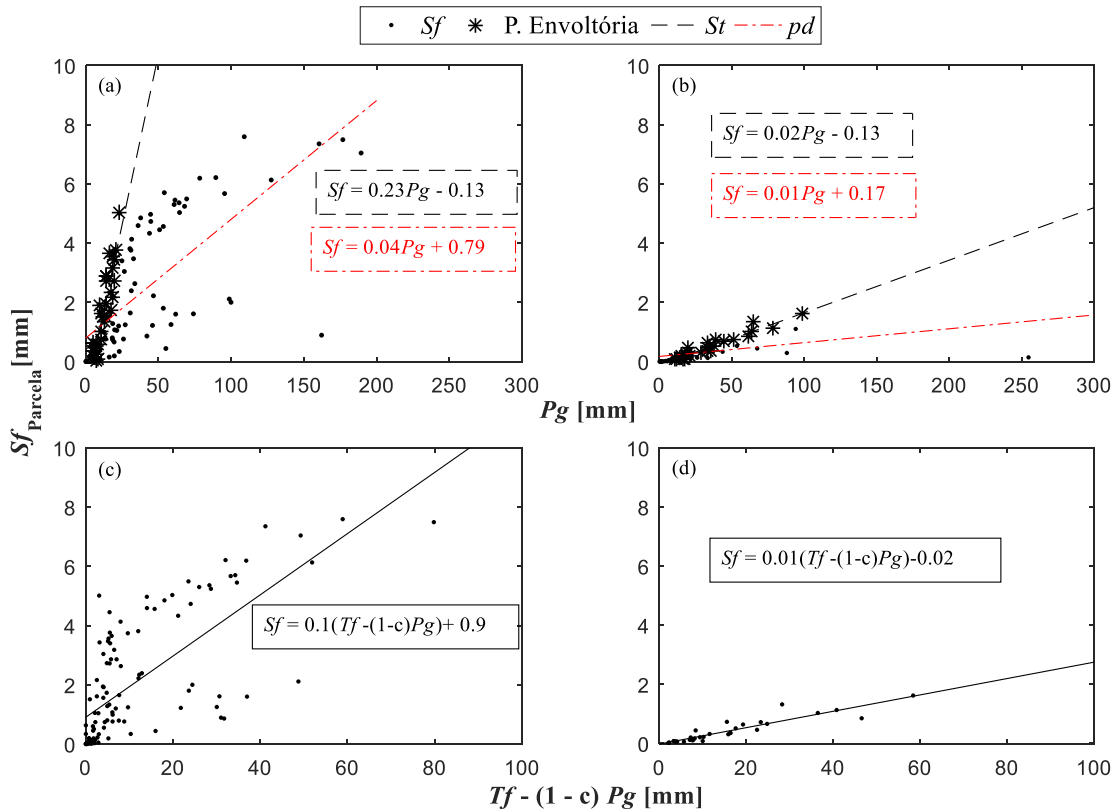


#### 4.1.5 Estimativa da capacidade de armazenamento do tronco e proporção de água desviada da copa para o tronco ( $pd$ )

A capacidade de armazenamento do tronco ( $St$ ) corresponde ao oposto do coeficiente linear da reta de regressão entre os valores de escoamento pelos troncos e de chuva externa, ou seja,  $St = -(-b)$  da reta de regressão da relação entre o escoamento pelo tronco com a chuva externa ( $Sf = aPg \pm b$ ). Segundo Valente et al. (1997), a reta de regressão entre  $Sf$  e  $Tf - (1 - c)Pg$  fornece uma estimativa do valor de  $pd$ , que corresponde a (inclinação da reta  $-a$ )/(1 + inclinação da reta).

Uma comparação entre os diferentes valores de  $p$  e  $Sc$  encontrados na literatura para floresta no Brasil são mostrados na Tabela 4-1. Os valores de  $p$  encontrados no presente estudo foram superiores aos valores relatados em estudos anteriores por dois motivos principais: (i) nós estimamos este parâmetro para cada pluviômetro de  $Tf$  separadamente, o que leva a maiores valores de  $p$  para os medidores de  $Tf$  situados sob vegetação esparsa; e (ii) a chuva interna foi mensurada quinzenalmente a mensalmente. Mesmo dividindo cada período em eventos de chuva, estávamos limitados a uma  $Tf$  relativa estimada para todo o período. Portanto, pequenos eventos, que são necessários para a correta estimativa dos valores de  $p$ , foram pouco caracterizados. Da mesma forma, como o valor de  $Sc$  varia de acordo com o número de indicadores de precipitação (ou, mais geralmente, o tamanho da área coletora) usados para estimar esse parâmetro, nossos valores podem diferir daqueles apresentados por outros estudos.

Figura 4-6 Relação entre o escoamento pelo tronco com a chuva externa e chuva interna descontada da precipitação na parte descoberta; (a) e (c) Parcela Peri 1; (b) e (d) Parcela Peri 2



Neste estudo, estimamos os valores de  $Sc$  para cada medidor de  $Tf$  separadamente. Em alguns estudos, esse parâmetro é estimado com o valor de chuva interna da média da parcela. Valores mais precisos de ambos os parâmetros  $p$  e  $Sc$  poderiam ser obtidos encurtando o período entre duas medições ou usando dados de sistemas de monitoramento automatizados.

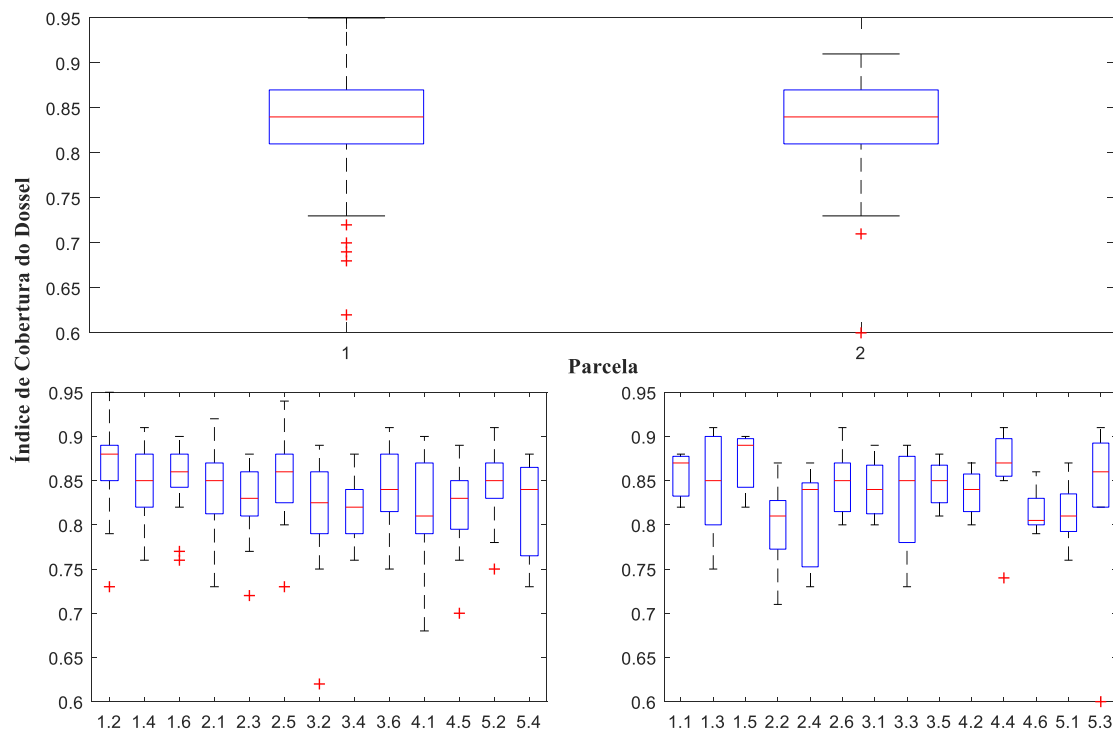
#### 4.1.6 Estimativa do índice de cobertura da copa utilizando fotografias da copa do dossel calculado a partir de fotos (c)

Como foi mostrado anteriormente, também foram utilizadas fotos da copa para o cálculo do índice de cobertura do dossel (CCF). Conforme mostrado na Figura 4-7, as duas parcelas têm o mesmo intervalo e variação de CCF.

Tabela 4-1 Comparação entre os valores da capacidade de armazenamento do dossel ( $Sc$ ) e do coeficiente de queda livre ( $p$ ) anteriormente relatados na literatura para florestas no Brasil e os encontrados neste estudo.

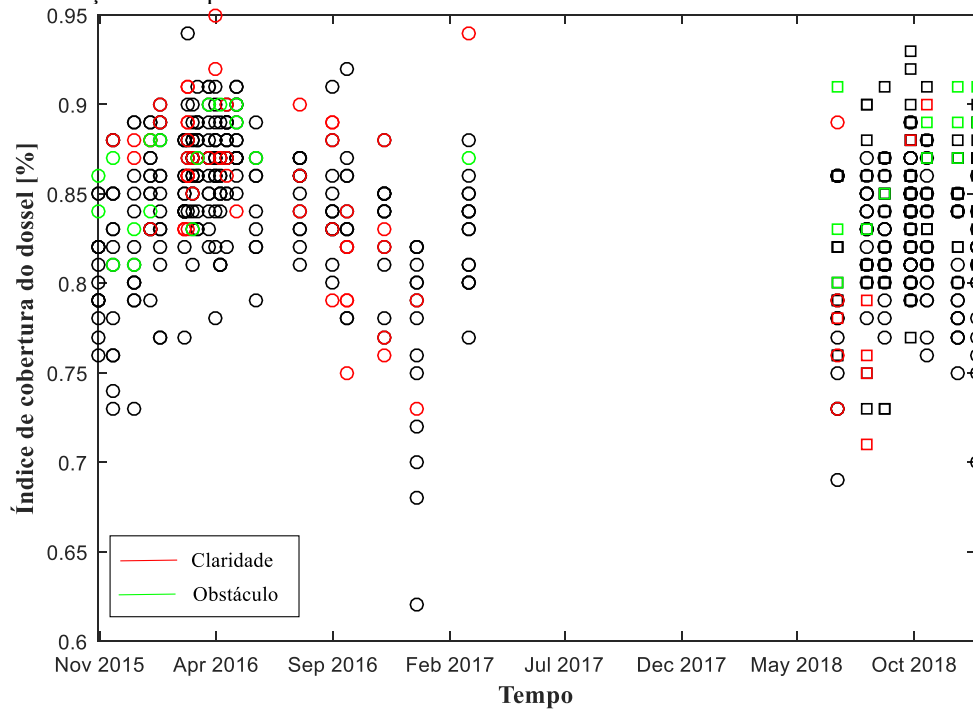
Referência	$Sc$ (mm)	$p$ (-)	Tipo de vegetação
Araponga	0,4 - 3,3 (1,56)	0,2 - 0,9 (0,56)	<i>Mixed Ombrophylous Forest</i> , Brazil
Lagoa do Peri	0,1 - 5,7 (1,7)	-	<i>Dense Ombrophylous Forest</i> , Brazil
Lloyd et al. (1988)	-	0,08	<i>Amazonian rain Forest</i> , Brazil
Lima and Leopoldo (2000)	1,4	-	<i>Tropical pine Forests</i> , Brazil
Link et al. (2004)	2,7 - 4,3	-	<i>Pseudotsuga menziesii forest</i> , Brazil
Germer et al. (2005)	0,4 - 0,7	0,03	<i>Open Ombrophylous Forest</i> , Brazil
Oliveira and Dias (2005)	1,3	-	<i>Semideciduous Forest</i> , Brazil
Cuartas et al. (2007)	1,05	0,03	<i>Amazonian rain Forest</i> , Brazil
Oliveira et al. (2008)	1,6	-	<i>Caxiuanã National Forest</i> , Brazil
Moura et al. (2009)	4,9 - 8,3 (7,3)	-	<i>Dense Ombrophylous Forest</i> , Brazil
Avila et al. (2014)	0,77 - 1,35 (1,58)	-	<i>Dense Ombrophylous Forest</i> Brazil

Figura 4-7 Índice de cobertura do dossel na lagoa do Peri: (a) variação entre as parcelas e; (b) variação entre os pontos de cada parcela.



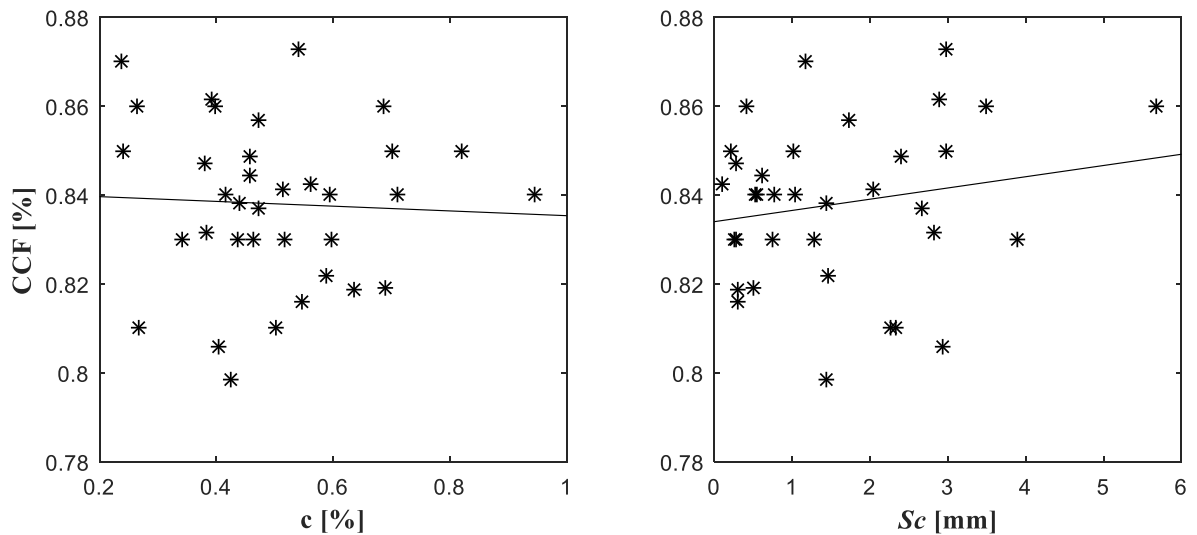
Observa-se que teve variação ao longo do tempo do CCF (Figura 4-8). Mesmo com a influência da claridade e dos obstáculos na foto da copa, não houve interferência na distribuição temporal dos índices de cobertura do dossel. Mas os valores foram inversamente proporcionais ao que esperávamos encontrar, sendo que o período de inverno obteve valores maiores que no verão, porque nesse período (verão) as árvores são mais florescentes, apresentando maior números de folhas.

Figura 4-8 Variação no tempo do índice de cobertura do dossel.



Assim como foi observado na bacia da Araponga (SÁ, 2015) não houve relação entre o índice CCF e os parâmetros encontrados pela relação da  $Tf \times Pg$  ( $Sc$  e  $c$ ). Observa-se, entretanto, que quanto maior a capacidade de armazenamento, maior o índice de CCF nesses pontos.

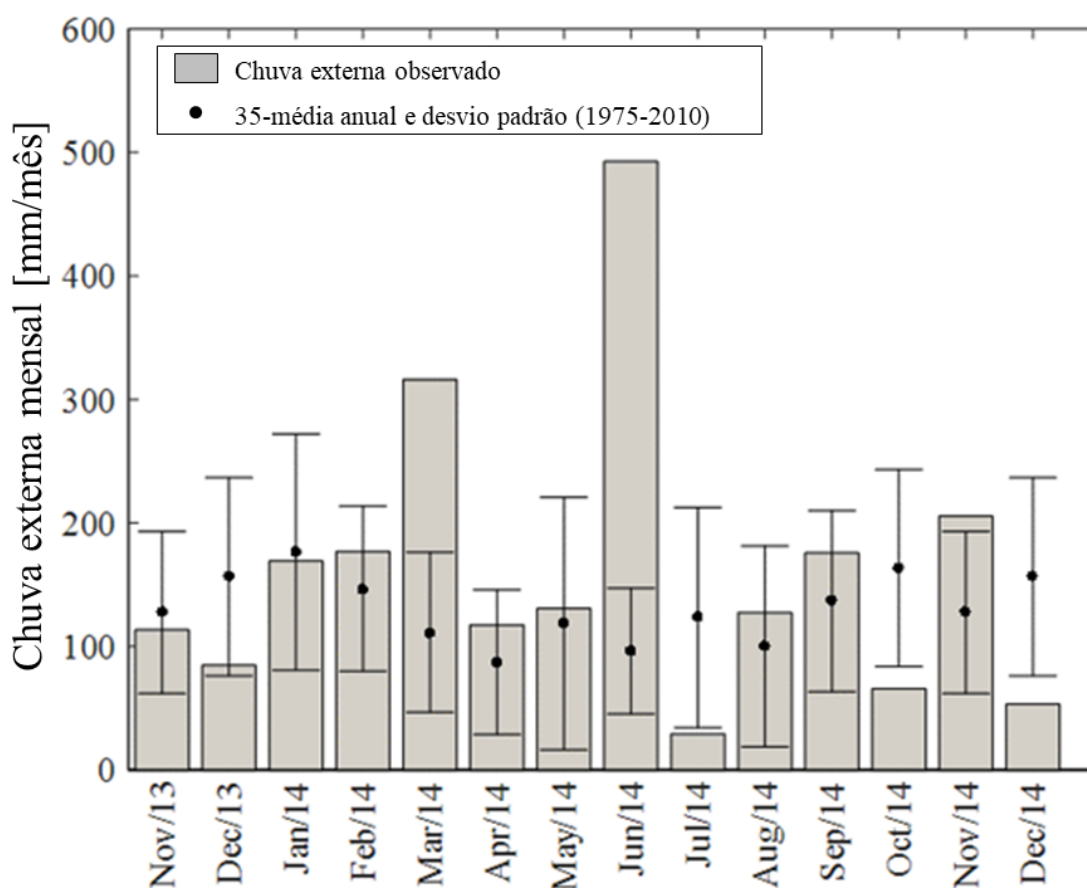
Figura 4-9 Relação do índice de cobertura do dossel com os parâmetros calculados utilizando a relação entre  $Tf$  e  $Pg$  ( $c$  e  $Sc$ ).



## 4.2 PADRÕES DA CHUVA INTERNA E DENSIDADE DE COPA EM UMA FLORESTA DE MATA ATLÂNTICA

De novembro de 2013 a dezembro de 2014, a precipitação total na bacia da Araponga foi de 1622 mm (Figura 4-10). Em março e junho de 2014 ocorreram eventos extremos de chuva. A chuva externa observada nestes dois meses foi significativamente maior do que a média mensal de precipitação dos últimos 35 anos (Figura 4-10). A taxa máxima de precipitação de 5 min ( $I_{5max}$ ) variou de 14,3 a 100,4 mm.h<sup>-1</sup>.

Figura 4-10 Dados mensais de precipitação bruta de novembro de 2013 a dezembro de 2014. Os círculos sólidos representam a média climatológica e as linhas verticais são o desvio padrão para o período de 1975 a 2010.



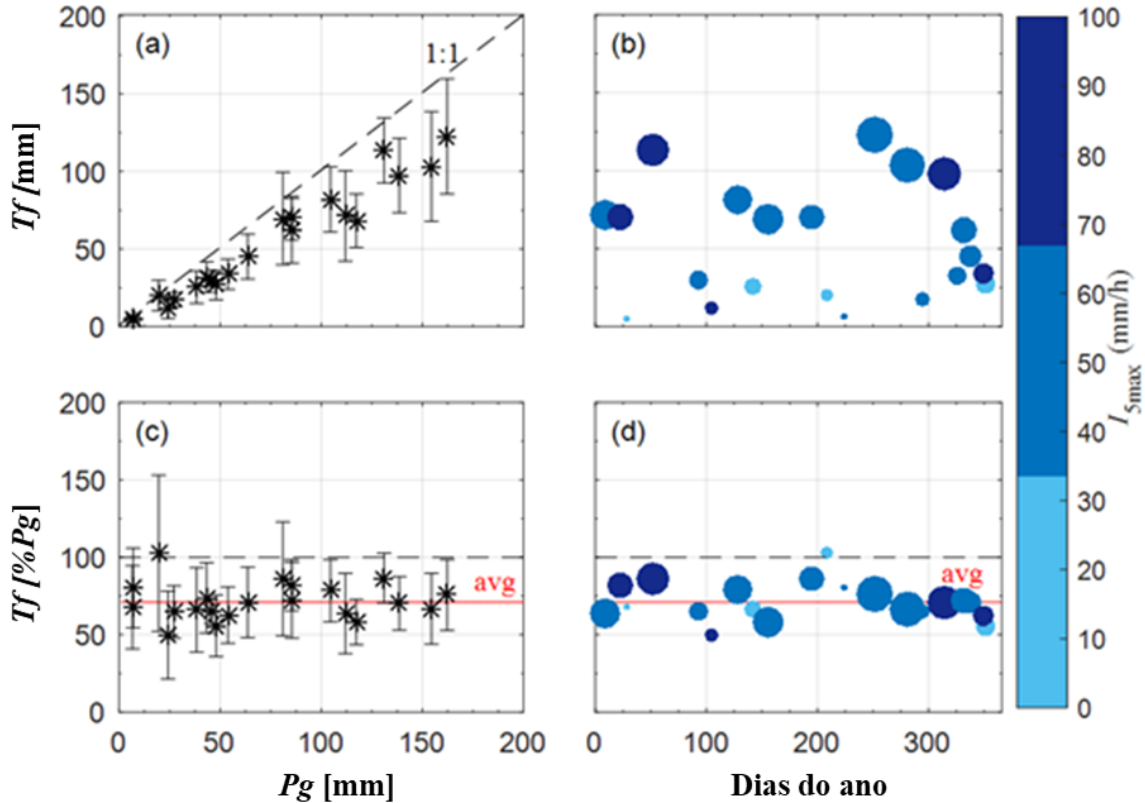
A chuva interna foi medida com 8 pluviômetros de  $Tf$  durante 10 períodos e 28 pluviômetros de  $Tf$  durante 13 períodos. Em alguns deles, nem todos os medidores da  $Tf$  estavam funcionando devido a entupimentos, transbordamentos ou outro problema que tornava a medição incerta (seção Apêndice F). Estas questões ocorreram em cinco dos 23 períodos, com o número (proporção) de medidores de  $Tf$  com alguns dos problemas mencionados igual a 2 (7%), 2 (7%), 4 (50%), 7 (25%) e 28 (100%). Dois desses períodos, um em março e outro em junho de 2014, em que a maioria dos pluviômetros de  $Tf$  estavam completamente cheios, foram eliminados de análises posteriores. Ao eliminar esses dois eventos maiores, esperamos que o declínio médio de longo prazo relatado neste estudo seja um pouco menor do que realmente

era, já que em grandes eventos a proporção de chuvas que atinge o solo como queda direta é geralmente alta.

A Figura 4-11 indica que a distribuição de  $Tf$  no espaço é heterogênea, uma vez que para cada evento (correspondente a um valor específico de  $Pg$ ) foi obtida uma ampla gama de medições de  $Tf$ . Esta alta variação entre os medidores de  $Tf$  é característica de florestas altamente heterogêneas, nas quais a complexa estrutura de dossel permite o movimento da água através de várias vias possíveis. Como relatado em muitos estudos, o evento total de  $Tf$  está linearmente relacionado com a  $Pg$  (Figura 4-11a). A chuva interna relativa (expressa como porcentagem da precipitação bruta) de cada período variou de 49% a 103%, correspondendo a 71% de  $Pg$  para todo o período de 13 meses. (Figura 4-11cd). A  $Tf$  também variou no tempo (Figura 4-11bd), mas sem nenhum padrão claro.

A  $Tf$  relativa de longo prazo estimada neste capítulo está de acordo com os valores encontrados por outros estudos. Em uma revisão de estudos de interceptação realizados em florestas brasileiras, Giglio e Kobiyama (2013) mostraram que os valores relatados de  $Tf$  relativa de longo prazo na Mata Atlântica variaram entre 47,6 e 97,4%. Mais recentemente, alguns estudos mostraram que a  $Tf$  variou de 79 a 87% de  $Pg$  em florestas Ombrófilas densas (Moura et al., 2009, 2012; Scheer, 2009; Souza and Marques, 2010; Avila et al., 2014) e de 76 a 85% de  $Pg$  em florestas semidecíduas (DINIZ et al., 2013; GASPAROTO et al., 2014; LORENZON; DIAS; LEITE, 2013; OLIVEIRA JÚNIOR; DIAS, 2005; SOUZA et al., 2007; TONELLO et al., 2014). Thomaz e Antoneli (2015) verificaram que a chuva interna correspondeu a 89,5% da  $Pg$  em uma Floresta Ombrófila Mista secundária.

Figura 4-11 Análise da chuva interna. Relação de chuva interna ( $Tf$ ) (média  $\pm$  desvio padrão) e chuva externa ( $Pg$ ) expressa como (a) precipitação total do evento e (c)  $Tf$  relativa. Variação temporal da precipitação média expressa como (b) chuva externa do período e (d) chuva interna. O tamanho dos pontos é proporcional a  $Pg$ . As cores variáveis de azul claro a escuro indicamos os valores de intensidade máxima de 5 min ( $I_{5max}$ ). As linhas tracejadas correspondem a  $Tf = 100\%$  de  $Pg$  e as linhas vermelhas indicam a média  $Tf$  (para todo o período de 13 meses).



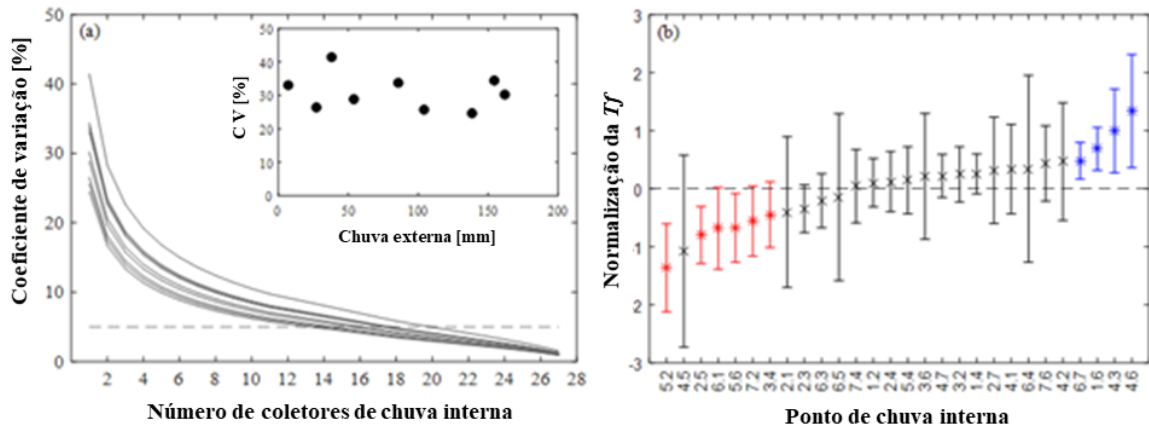
A redistribuição espacial da chuva pela vegetação foi investigada com os 28 pluviômetros de  $Tf$  (Figura 4-12). A dependência da média do gráfico  $Tf$  no número de medidores de  $Tf$  foi investigada com a análise do coeficiente de variação da média  $Tf$  ( $CV_{comb}$ ) usando todas as combinações possíveis de medidores de  $Tf$  tomadas de 1 a 27 de cada vez (Figura 4-12a). Para esta análise, apenas os períodos com medição de  $Tf$  em todos os medidores de  $Tf$  foram considerados. A alta heterogeneidade da floresta estudada leva a um  $CV_{comb}$  maior que 5% quando o número de pluviômetros de  $Tf$  considerados é menor que 20 (Figura 4-12a). Descobrimos que o coeficiente de variação (CV) das medições de chuva interna dos 28 pluviômetros era independente do total da chuva externa de cada período (inserção da Figura 4-12a).

A análise da estabilidade temporal da distribuição espacial de  $Tf$  sugeriu a existência de caminhos preferenciais para o movimento da água no dossel da floresta, resultando em valores menores ou maiores de  $Tf$  em certos pontos de coleta (por exemplo, medidores 5.2 e 4.6, Figura 4-12b). No entanto, alguns medidores de  $Tf$  (por exemplo, medidores 4,5, 6,4 e 6,5, Figura 4-12b) apresentaram uma grande variação entre os períodos de monitoramento. A chuva



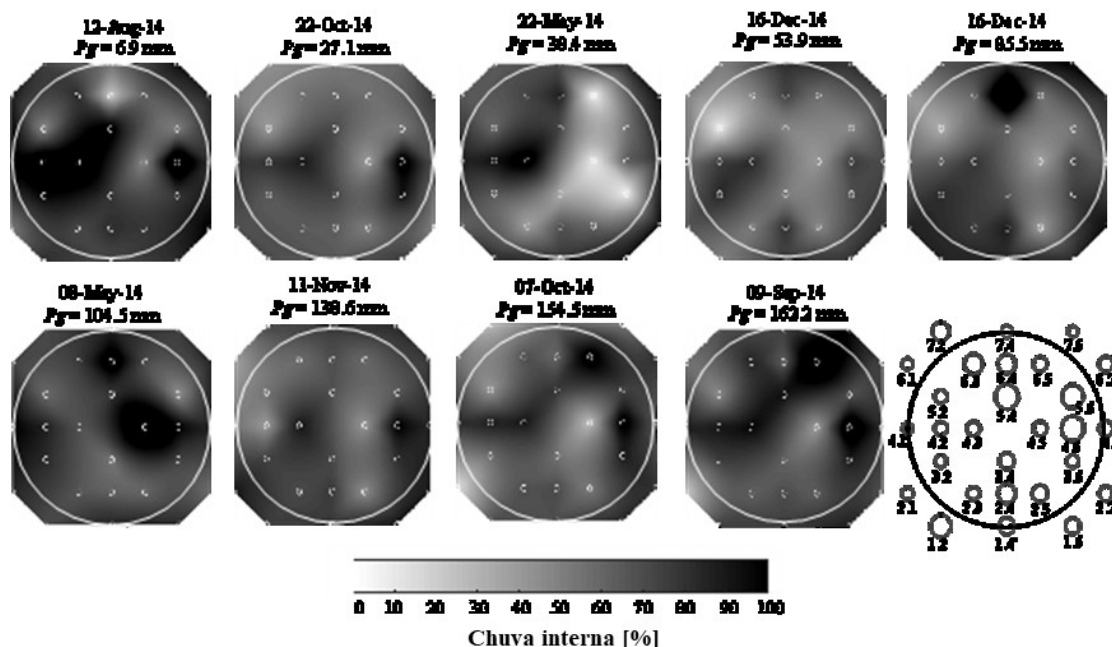
interna média foi significativamente diferente de zero (teste  $t$  ao nível de significância de 5%) em 10 dos 28 pluviômetros de  $Tf$ . A média da chuva interna normalizada foi consistentemente mais baixa do que a precipitação média em todas as parcelas em 6 deles (medidores de  $Tf$  em vermelho na Figura 4-12b) e consistentemente mais alta em 4 deles (medidores de  $Tf$  em azul na Figura 4-12b). Sari et al. (2015) monitoraram a distribuição espacial da chuva interna na Mata Atlântica utilizando 20 pluviômetros de  $Tf$  e também demonstraram que a variabilidade espacial da  $Tf$  foi persistente no tempo em alguns pontos.

Figura 4-12 Estabilidade temporal e variabilidade espacial da chuva interna na parcela 2. Apenas os períodos com medições de chuva interna de todos os 28 pluviômetros foram considerados. (a) Coeficiente de variação da precipitação média estimada usando todas as combinações dos pluviômetros de  $Tf$ . Cada linha representa um período de medição. A inserção exibe o coeficiente de variação das medições de chuva interna em relação à chuva externa. (b) Gráfico de estabilidade de tempo do desvio normalizado para média zero e variância unitária. O caudal médio normalizado significativamente inferior a zero é mostrado em vermelho ( $Tf$  secos) e os caudais normalizados médios significativamente superior a zero são mostrados em azul ( $Tf$  úmidos).



A distribuição espacial da  $Tf$  neste estudo é claramente heterogênea (Figura 4-13). Essa heterogeneidade é típica das florestas tropicais, como mostrado em outros estudos (DINIZ et al., 2013; GASPAROTO et al., 2014; LORENZON; DIAS; LEITE, 2013; OLIVEIRA JÚNIOR; DIAS, 2005; SOUZA et al., 2007; TONELLO et al., 2014). Também pode ser observado que a distribuição da chuva interna varia de um período para outro. Esse resultado indica que a distribuição espacial de  $Tf$  depende das características da tempestade e, portanto, confirma que ela não é controlada apenas pelas características do dossel (GERMER; ELSENBEEER; MORAES, 2005; GERRITS; PFISTER; SAVENIJE, 2010; GÓMEZ; GIRÁLDEZ; FERERES, 2001; MANFROI et al., 2006; SHACHNOVICH; BERLINER; BAR, 2008; ZIMMERMANN et al., 2008).

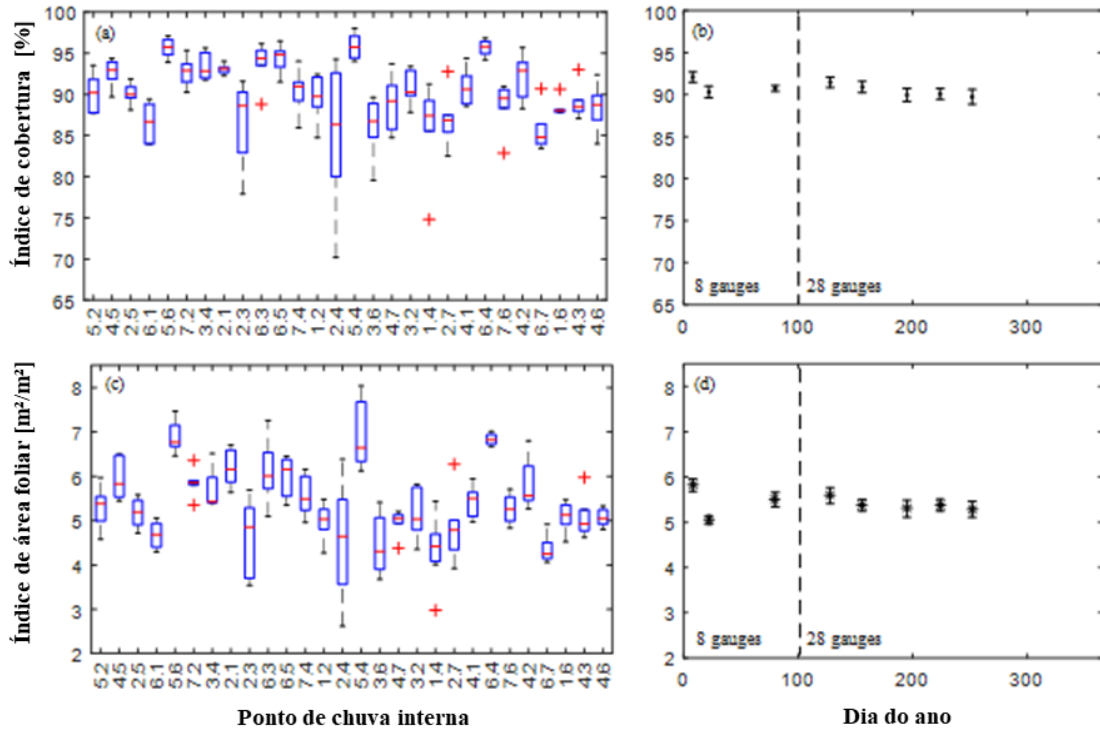
Figura 4-13 Variabilidade espacial da chuva interna relativa no período de 08 de maio a 16 de dezembro de 2014. Os círculos indicam a posição dos pluviômetros de *Tf*. No painel inferior esquerdo, o tamanho dos pontos é proporcional à variação de desvio padrão. Os períodos são organizados em ordem crescente de precipitação bruta total ( $P_g$ ). Apenas os períodos com medições de chuva interna de passagem de todos os 28 pluviômetros de *Tf* foram considerados.



Em uma observação preliminar das fotografias antes de qualquer processamento digital, já está claro que o dossel da floresta é heterogêneo entre os pontos de monitoramento. Os valores de LAI e CCF obtidos para cada pluviômetro de *Tf* são apresentados na Figura 4-14ac, respectivamente. Como a escolha do tamanho do círculo extraído de cada fotografia pode resultar em uma alta variação nos valores de LAI e CCF obtidos, para cada pluviômetro de *Tf* utilizamos a média entre os índices obtidos. O CCF médio variou de 85 a 96% (Figura 4-14a). O LAI médio durante o período de monitoramento variou de 4,2 a 6,8  $m^2/m^2$  (Figura 4-14c). Podemos observar na Figura 4-14a e na Figura 4-14c que alguns pontos têm uma variação maior nos valores de LAI e CCF ao longo do ano do que outros pontos (por exemplo, pluviômetros 2.3 e 2.4).

Os valores de CCF e LAI variaram ao longo do ano, com valores ligeiramente inferiores no inverno (Figura 4-14b e Figura 4-14d). Essa variação do LAI ao longo do ano também foi mostrada em outros estudos (NEGRÓN JUÁREZ et al., 2009). No entanto, esta variação foi muito menos pronunciada do que a variação entre os pluviômetros de *Tf*. Embora se espere uma correlação significativa entre a cobertura do dossel (LAI e CCF) e a chuva em florestas altamente sazonais ou relativamente menos densas, a menor variabilidade da cobertura do dossel em florestas sempre mais densas não é suficiente para explicar a alta variabilidade temporal observado em *Tf*.

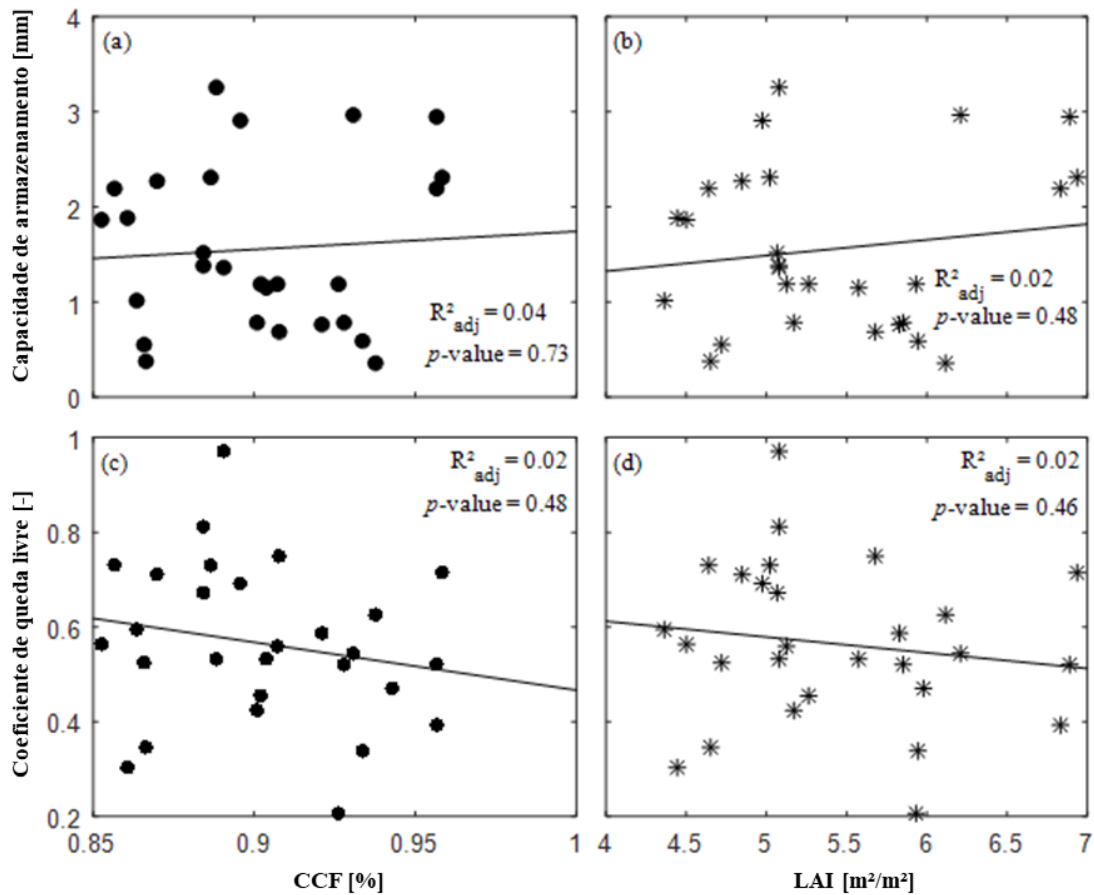
Figura 4-14 Variação espacial e temporal dos índices de cobertura do dossel. (a) Variação do CCF entre os períodos para cada pluviômetro de  $Tf$ . CCF para cada período foi considerado como a média entre o CCF estimado usando círculos extraídos das fotografias digitais com raio variando entre 10 e 25% da diagonal. (b) variação do CCF ao longo do ano. Os círculos sólidos e as linhas verticais são a média e o erro padrão. (c) Variação do LAI entre os períodos para cada pluviômetro de  $Tf$ . O LAI para cada período foi considerado como a média entre o LAI estimado utilizando círculos extraídos das fotografias digitais com raio variando entre 10 e 25% da diagonal. (d) Variação do LAI ao longo do ano. Os círculos sólidos e as linhas verticais são a média e o erro padrão.



Os valores da capacidade de armazenamento da copa ( $Sc$ ) e do coeficiente de queda livre ( $p$ ) foram estimados com base na relação entre  $Tf$  e  $Pg$  (seção 4.1.4). O  $p$  variou entre 0,21 e 0,97 (média de 0,56) (Tabela 4-1). A  $Sc$  estimada neste estudo variou de 0,36 a 3,25 mm com média de 1,56 mm (Tabela 4-1).

Diferente dos resultados apresentados por estudos anteriores, encontramos uma correlação muito fraca entre CCF (ou LAI) e  $Sc$  (Figura 4-15a-b), bem como entre CCF (ou LAI) e  $p$  (Figura 4-15cd). Aston (1979) encontrou uma relação linear entre  $p$  e LAI, obtendo uma relação inversamente proporcional. Pitman (1989) encontrou uma relação exponencial entre  $p$  e LAI.

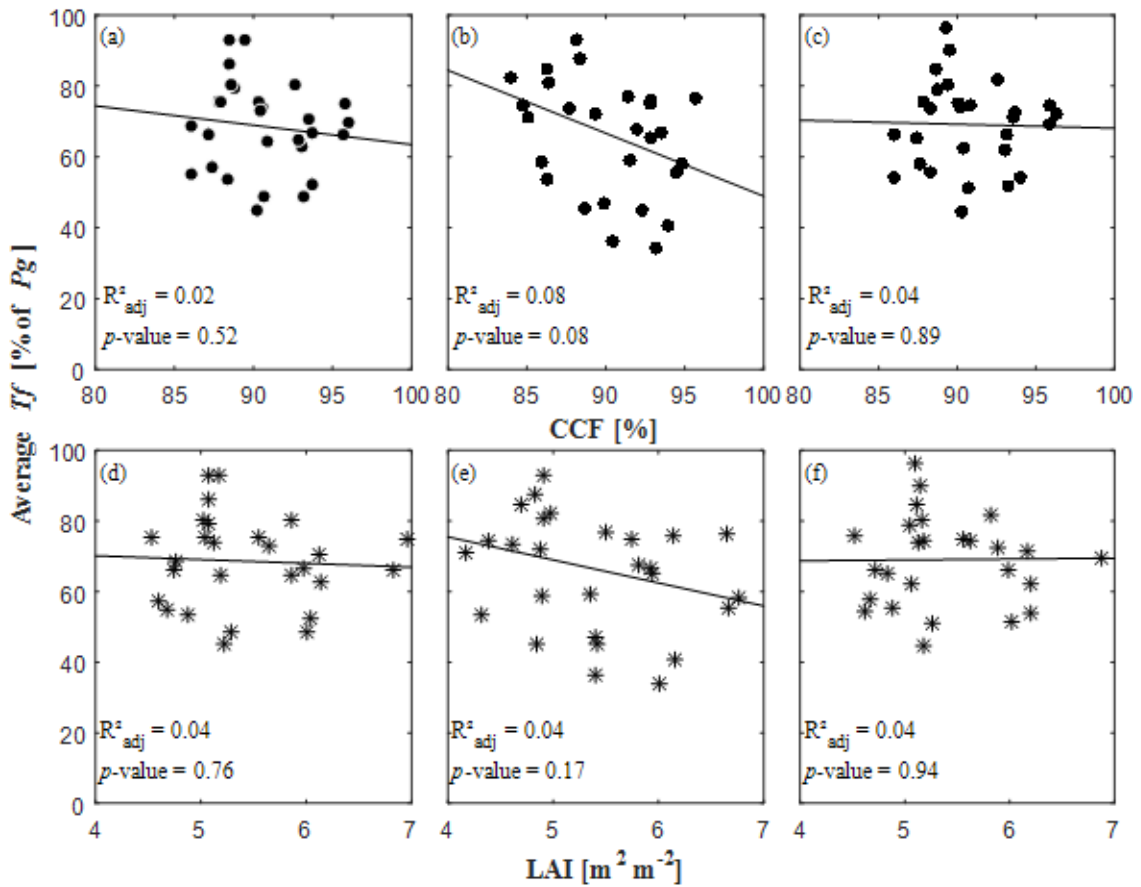
Figura 4-15 Relações entre os parâmetros da copa das árvores: (a)  $Sc$  e CCF; (b)  $Sc$  e LAI; (c)  $p$  e CCF e; (d)  $p$  e LAI.



Nenhuma relação pode ser estabelecida entre  $Tf$  relativo e LAI ou CCF para cada um dos 8 períodos (resultados não mostrados). Considerando o LAI e o CCF médios de tempo para cada pluviômetro de  $Tf$ , também não se obteve uma relação forte com  $Tf$  relativa (Figura 4-16). Benyon and Doody (2015) não encontraram relação entre a evaporação por interceptação e o LAI ( $R^2 = 0,04$  em Pinus e 0,01 em Eucalyptus. Globulus). He et al. (2014) também não encontraram relação entre o LAI e a evaporação da interceptação do dossel ( $R^2 = 0,04$ ).

Deguchi et al. (2006) não encontraram uma relação entre a fração de cobertura do dossel ou LAI e  $Tf$  relativa em uma floresta secundária multiespécie, decídua e de folhas largas no Japão. Fleischbein et al. (2005) e Siles et al. (2010) encontraram uma relação linear positiva entre a evaporação da interceptação e o LAI em uma floresta montana inferior no sul do Equador. Fan et al. (2015) encontraram uma relação exponencial entre  $Tf$  e LAI ( $R^2 = 0,68$ ) em uma plantação de pinus no sudeste de Queensland, Austrália.

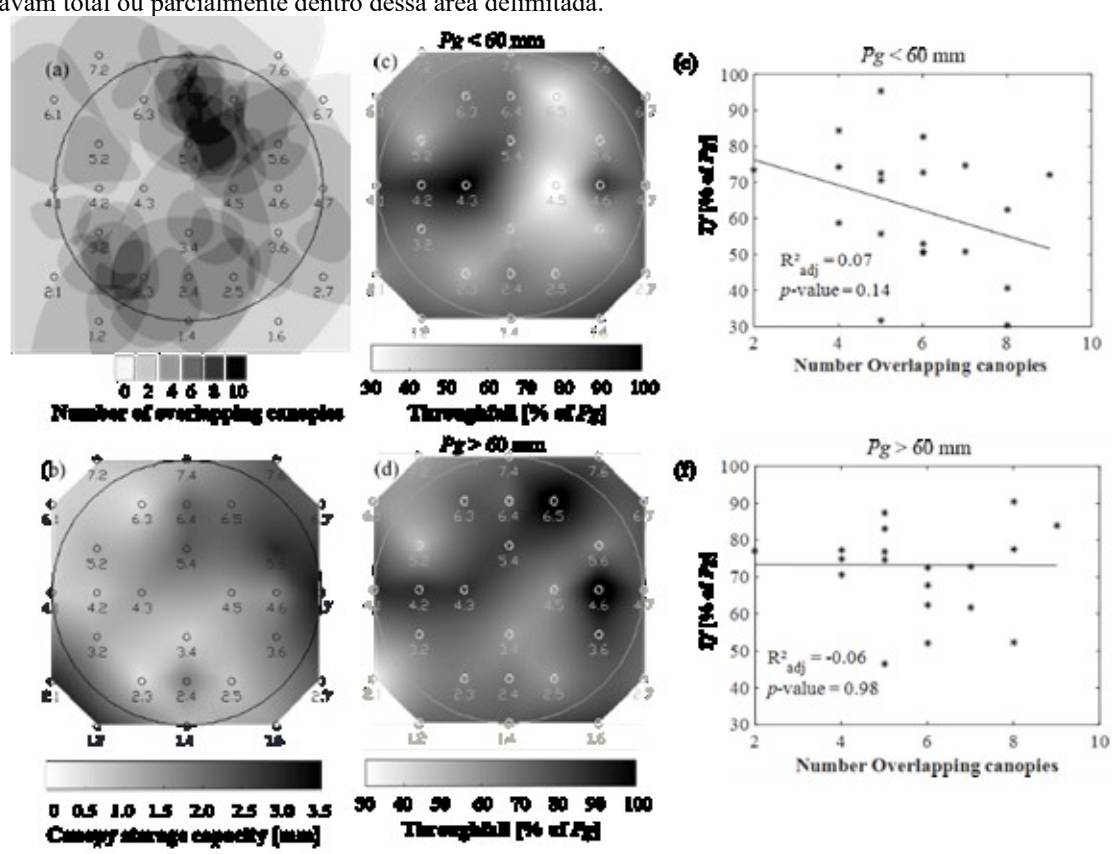
Figura 4-16 Análise da relação entre a chuva interna relativa ( $Tf$ ) e os índices de cobertura do dossel: (a) e (d) todos os períodos; (b) e (e) períodos com precipitação bruta ( $Pg$ ) <60 mm; (c) e (f) períodos com precipitação bruta > 60 mm.



A distribuição de chuva interna parece estar relacionado com o número de copas sobrepostas na parcela em períodos com precipitação bruta ( $Pg$ ) menor que 60 mm (Figura 4-17a e c). Este limite de 60 mm separa os períodos de medição em duas classes (metade inferior e superior em termos de precipitação bruta total). Considerando os períodos com  $Pg < 60$  mm, a chuva interna relativa foi menor (maior) nas regiões dentro da parcela com maior (menor) número de copas sobrepostas (Figura 4-17ac). Esse resultado pode ser uma consequência da maior capacidade de armazenamento da copa em locais com maior número de copas sobrepostas. A análise da variação da capacidade de armazenamento do dossel no espaço (Figura 4-17) confirma esta hipótese, sugerindo uma relação entre este parâmetro e o padrão de distribuição espacial da chuva interna para períodos com  $Pg < 60$  mm (Figura 4-17c). As localizações na parcela com maior capacidade de armazenamento resultaram em menores quantidades de desvio e por meio de medidores de chuva interna situados abaixo das regiões da parcela com maior capacidade de armazenamento da copa receberam menos volume. Considerando os períodos com maior quantidade de precipitação bruta ( $Pg > 60$  mm) este padrão mudou, e a chuva interna em cada pluviômetro não parece estar relacionada com o

número de copas sobrepostas (d). A maior quantidade de volume recebida pelos pluviômetros de  $Tf$  localizados sob um número maior de copas sobrepostas por períodos com  $Pg > 60$  mm indica que, nesta situação, as copas podem agir como um funil em alguns locais específicos, com um alto número de pontos de gotejamento. Apesar desses padrões visuais, a relação entre a chuva interna relativa e o número de copas sobrepostas era muito fraca, mesmo para eventos com  $Pg < 60$  mm (Figura 4-17f).

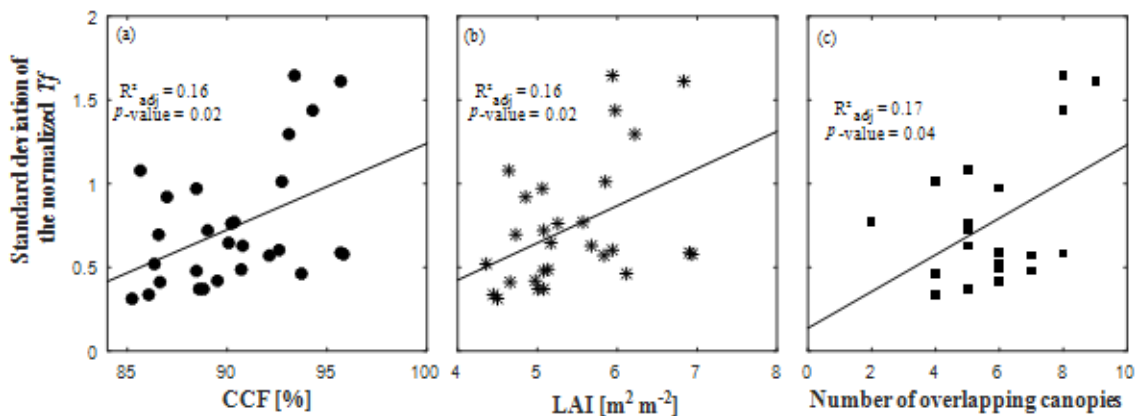
Figura 4-17 Número de copas sobrepostas e distribuição espacial da chuva interna ( $Tf$ ) para o período entre 15 de abril e 16 de dezembro de 2014. Os círculos representam a posição dos medidores de  $Tf$ .  $Pg$  é a chuva externa. (a) Número de copas sobrepostas para a área circular (raio de 3 m). (b) Distribuição espacial da capacidade de armazenamento do dossel ( $Sc$ ). Distribuição espacial da proporção da chuva interna ( $Tf$ ) para todos os períodos com (c)  $Pg < 60$  mm e (d)  $Pg > 60$  mm. Relação entre o número de copas sobrepostas e a chuva interna relativa em todos os períodos com (e)  $Pg < 60$  mm e (f)  $Pg > 60$  mm. Apenas os pluviômetros de  $Tf$  dentro da área circular foram considerados nesta análise, uma vez que a área projetada da copa foi estimada para as árvores cujas copas estavam total ou parcialmente dentro dessa área delimitada.



Embora não tenha sido encontrada nenhuma relação significativa entre o  $Tf$  e os índices de cobertura do dossel, a cobertura do dossel pode influenciar na variação do desvio entre eventos em cada pluviômetro de  $Tf$ . De fato, o desvio padrão da chuva interna normalizada foi positivamente relacionado com o CCF e o LAI (tempo médio para cada pluviômetro de  $Tf$ ) e o número de copas sobrepostas acima de cada pluviômetro de  $Tf$  (valor de  $p < 0,05$ ) (Figura 4-18). Este resultado indica que a chuva interna total em locais com menos cobertura de dossel tem uma menor variabilidade entre diferentes eventos de tempestades em relação à média de

emissão do que através de  $Tf$  sob um dossel altamente denso. Este foi um resultado esperado, uma vez que se sabe que o dossel influencia o armazenamento e a liberação de água (ALLEN et al., 2014; LEVIA et al., 2011). Portanto, locais com um número maior de camadas de dossel têm maior probabilidade de ter uma maior capacidade de armazenamento (como mostrado na Figura 4-17) e um número maior de vias preferenciais, o que levará a uma grande variabilidade de queda dependendo das características da tempestade.

Figura 4-18 Relação entre o desvio padrão da chuva interna normalizada e a cobertura da copa em cada pluviômetro de  $Tf$ , representado por (a) o CCF (CCF médio para cada pluviômetro de  $Tf$ ); (b) o LAI (tempo médio de LAI para cada pluviômetro de  $Tf$ ) e (c) o número de copas sobrepostas acima de cada pluviômetro de  $Tf$  (apenas pluviômetros de  $Tf$  dentro da área circular de 28 m<sup>2</sup> foram considerados neste caso, uma vez que a área projetada da coroa foram estimados para árvores cujos dosséis estavam total ou parcialmente dentro dessa área delimitada).



#### 4.3 A INFLUÊNCIA DAS ESTRUTURAS DAS ÁRVORES NA DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA EM FLORESTA OMBRÓFILA DENSA

A chuva externa ( $Pg$ ) e a chuva interna ( $Tf$ ) e escoamento pelo tronco ( $Sf$ ) foram medidos de novembro de 2017 a dezembro de 2018, em duas parcelas (Peri 1 e Peri 2) com vegetação e características fisiográficas distintas, conforme são mostradas na Tabela 4-2. A Peri 1 foi classificada como vegetação de Restinga Arbórea e a Peri 2 como floresta atlântica avançada. Podemos observar que a Peri 2 tem mais árvores e as médias do diâmetro na altura do peito (DAP), altura da árvore (H) e área da copa ( $A_{copa}$ ) são menores que na Peri 1. Isso ocorre porque existem 3 árvores (T1, T3 e T12) que são dominantes na Peri 1. Observa-se que na Peri 1 existem 6 espécies diferentes, enquanto na Peri 2 existem somente 4 espécies.

Tabela 4-2 Caracterização das parcelas de monitoramento.

Parâmetros	Peri 1	Peri 2
<b>Classificação</b>	Restinga Arbórea	Floresta Atlântica Avançada
<b>n° de Tf</b>	23	24
<b>n° de Sf</b>	18	20
<b>Espécies</b>	<i>Alchornea triplinervia</i> ; <i>Eugenia astringens</i> ; <i>Ilex dumosa</i> ; <i>Ilex teezans</i> ; <i>Myrcia splendens</i> ; <i>Ocotea pulchella</i> ;	<i>Cecropia glaziovii</i> ; <i>Cupania vernalis</i> ; <i>Lonchocarpus sp</i> ; <i>Piper gaudichaudianum</i>
<b>DAP [cm]*</b>	10,9	6,2
<b>Altura da árvore [m] *</b>	7,0	6,1
<b>Área da copa [m²] *</b>	6,5	2,3

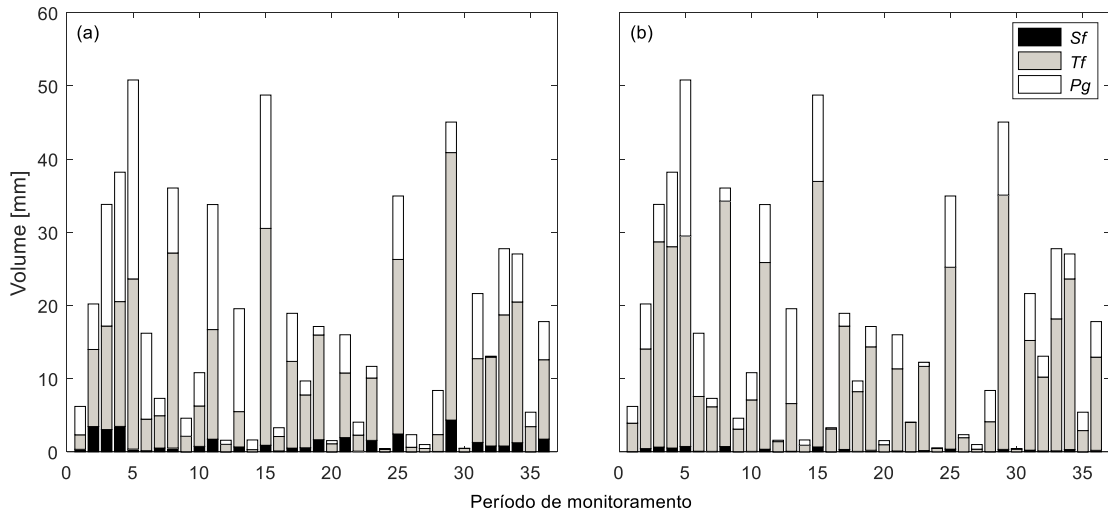
\*média

Foram identificados 49 períodos de monitoramento, entre 09 de novembro de 2017 e 21 de dezembro de 2018. A seleção do período analisado se deu a partir da qualidade dos dados coletados. Os dois monitoramentos estariam funcionando e foram aceitos períodos com no máximo de 10% de falhas (sem o monitoramento de 3 árvores e 2 pluviômetros).

A chuva externa na bacia hidrográfica da Lagoa do Peri durante esse estudo foi de 2.314 mm, mas devido a seleção dos períodos de monitoramento (36 períodos). A chuva externa foi de 617 mm e o dia com a maior precipitação observada foi em 6 de fevereiro de 2018, com 51 mm (Período 5). Observa-se na Figura 4-19 a distribuição da chuva externa e os respectivos valores da chuva interna e do escoamento pelo tronco. Na parcela Peri 1 o volume do escoamento pelo tronco é maior que na parcela Peri 2. Isso ocorre pelo fato que existem 3 árvores dominantes (T1, T3 e T12) nessa parcela que registraram mais de 80% do volume total, totalizando 1375 litros de 1713 litros de água. Enquanto na parcela Peri 2 o volume do escoamento pelo tronco foi de 343 litros de água, sendo apenas 20% do volume total de água da parcela Peri 1.



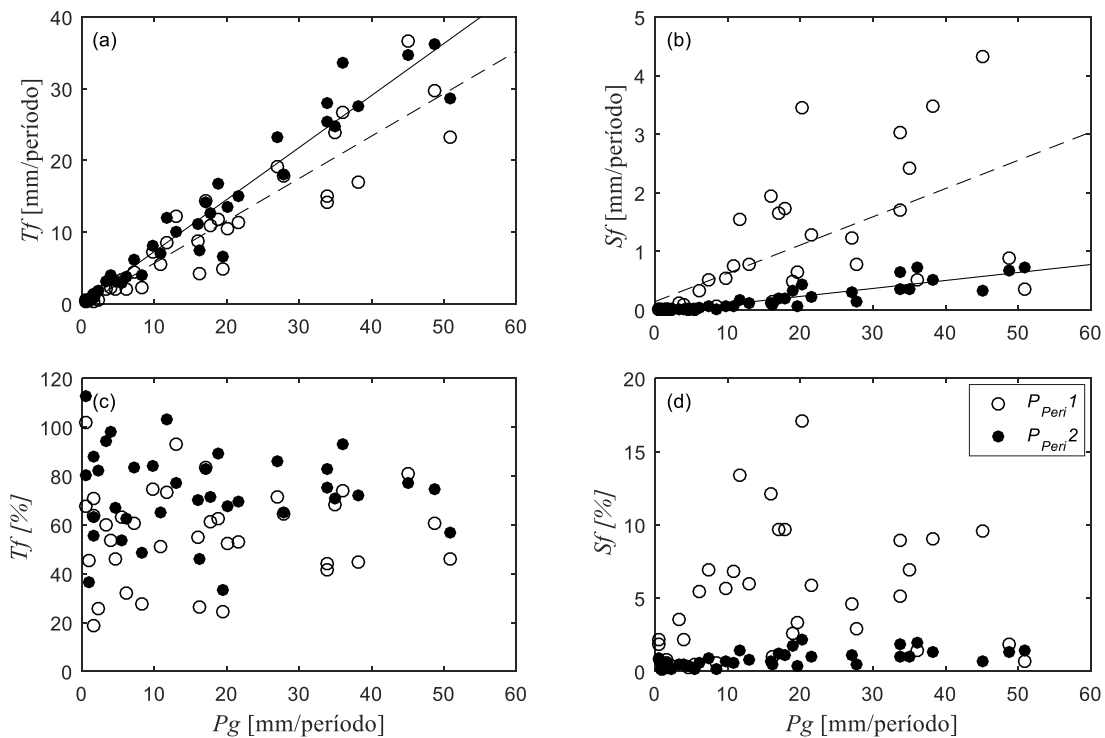
Figura 4-19 Volume da chuva externa ( $P_g$ ), chuva interna ( $T_f$ ) e escoamento pelo tronco ( $S_f$ ) registrado em cada período monitorado. (a) Peri 1 e (b) Peri 2.



A chuva interna na parcela Peri 1 foi de 57,7% em relação a chuva externa e o escoamento pelo tronco foi de 5,67%, o que representa uma perda por interceptação nessa parcela de 36,6% da chuva total do evento. A Peri 2 foi um pouco diferente comparando a Peri 1, a chuva interna da Peri 2 foi 449 mm (72,8% da  $P_g$ ), sendo maior que na Peri 1, em compensação o escoamento de tronco foi de 7 mm (1,1% da  $P_g$ ), sendo menor que na Peri 2, e a perda por interceptação foi de 161 mm (26%).

Na Figura 4-20a observa-se a relação linear entre a chuva externa e a média da chuva interna das duas parcelas (Peri 1 e Peri 2). Para chuvas acima de 10 mm a amplitude e a variância da chuva interna são maiores, distanciando-se da relação 1:1. Este comportamento provavelmente reflete na saturação gradual do dossel e a fração resultante da água da chuva que atinge o solo sem atingir o dossel. Podemos também observar que, na maioria dos eventos, a média da chuva interna da parcela Peri 2 foi maior que da parcela Peri 1, principalmente em eventos maiores que 20 mm.

Figura 4-20 Relação da chuva interna e escoamento pelo tronco com a chuva externa: (a) chuva interna com a chuva externa; e (b) escoamento pelo tronco com a chuva externa; (c) proporção da chuva interna com a chuva externa; e (d) proporção do escoamento pelo tronco com a chuva externa.



O escoamento pelo tronco da Peri 1 foi maior que a Peri 2 (Figura 4-20b). Em eventos maiores que 20 mm, o volume de umas das 3 árvores dominantes na Peri 1 é maior que o volume máximo de armazenamento, por isso na Figura 4-20d a porcentagem do escoamento pelo tronco da parcela Peri 1 é menor que eventos abaixo de 20 mm.

As árvores com DAP < 10 cm produziram, em média, 32% do escoamento pelo tronco ( $S_f$ ) acumulado. Para eventos de chuva acima de 40 mm os valores das 3 árvores com DAP > 20 cm, foram diminuindo, isso ocorreu porque nesses eventos, os recipientes de armazenamento ficavam cheios, e com isso era perdido esse monitoramento. Podemos observar também que mais da metade do volume total produzido foi gerado pelas 3 árvores com DAP < 20 cm.

Todas as 38 árvores das duas parcelas geraram 3419 litros durante o monitoramento. O volume de  $S_f$  gerado em 112 eventos de chuvas foram classificados por árvores em diferentes classes de DAP e diferentes magnitudes de evento, cerca de 30% do  $S_f$  produzido ocorreu em eventos com  $P_g > 20$  mm.

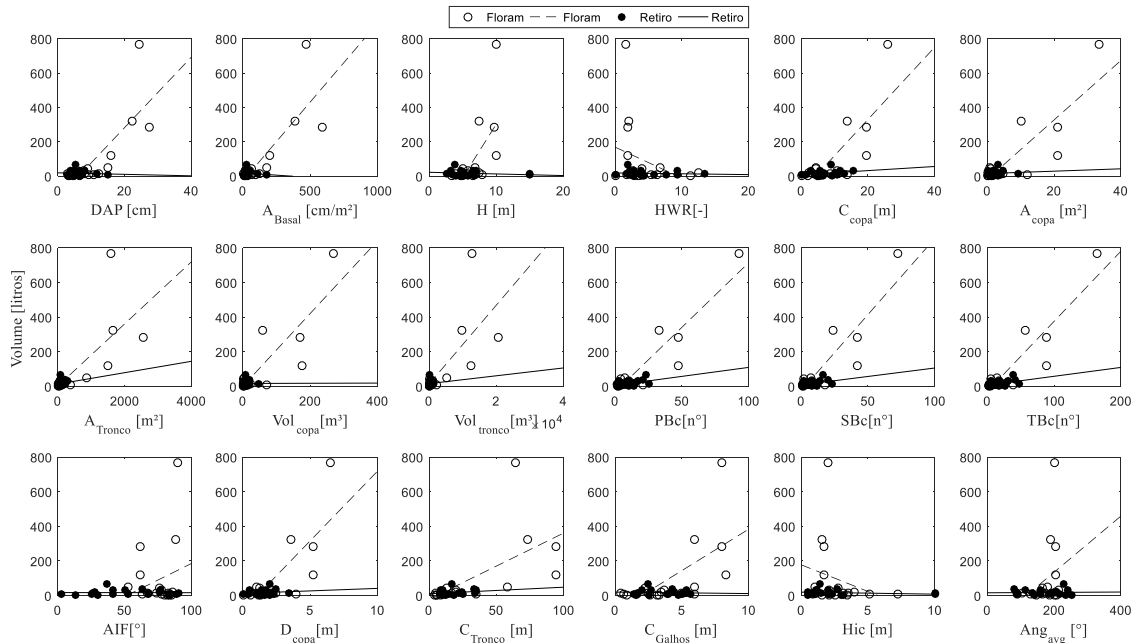
Para verificar a existência de correlação entre as características das estruturas das árvores com o volume do escoamento pelo tronco, foi realizado a padronização dos dados e depois foram calculados os coeficientes de correlação não paramétrica de *Spearman* ( $r_s$ ), que são apresentados na Tabela 4-3. Observa-se que o volume do escoamento pelo tronco da Peri 2 (coluna 1) não teve correlação com nenhum dos parâmetros da estrutura da árvore. Mas foi possível observar algumas relações ( $R>0,7$ ) na Peri 1 (e.g. DAP,  $A_{Copa}$ ,  $A_{tronco}$ ,  $V_{Copa}$ ,  $V_{Tronco}$ , PBC, AIF e  $C_{Tronco}$ ). A maior correlação na Peri 1 foi o volume do tronco, pois quanto maior o volume do tronco maior a área de captação da água que cai sobre a floresta o que influencia no fluxo do escoamento pelo tronco.

Tabela 4-3 Matriz de correlação de *Spearman* entre o volume do escoamento pelo tronco com as estruturas das árvores. Diagonal de cima representa a Peri 1 e a diagonal de baixo representa a Peri 2. Os valores que estão em negrito indicam que os pares das variáveis têm correlação significativa ( $p<0,05$ ).

	Volume	DAP	H	HWR	$C_{copa}$	$A_{copa}$	$A_{tronco}$	$V_{copa}$	$V_{tronco}$	PBC	SBC	AIF	$D_{copa}$	$C_{Tronco}$	$C_{galhos}$	Hic	$A_{medio}$
Volume		<b>0.79</b>	<b>0.65</b>	-0.29	<b>0.62</b>	<b>0.81</b>	<b>0.74</b>	<b>0.79</b>	<b>0.84</b>	<b>0.81</b>	-0.17	<b>0.74</b>	<b>0.62</b>	<b>0.81</b>	<b>0.67</b>	-0.38	0.32
DAP	0.10		<b>0.77</b>	-0.47	<b>0.74</b>	<b>0.78</b>	<b>0.82</b>	<b>0.75</b>	<b>0.81</b>	<b>0.84</b>	-0.37	<b>0.82</b>	<b>0.74</b>	<b>0.75</b>	<b>0.77</b>	<b>-0.56</b>	0.10
H	-0.09	<b>0.74</b>		-0.18	<b>0.60</b>	<b>0.68</b>	<b>0.63</b>	<b>0.65</b>	<b>0.68</b>	<b>0.73</b>	-0.07	<b>0.63</b>	<b>0.60</b>	<b>0.70</b>	<b>0.70</b>	-0.22	0.11
HWR	-0.08	-0.14	0.25		<b>-0.61</b>	-0.37	<b>-0.54</b>	-0.39	<b>-0.50</b>	<b>-0.51</b>	0.05	<b>-0.54</b>	<b>-0.61</b>	-0.32	<b>-0.55</b>	<b>0.67</b>	-0.23
$C_{copa}$	0.18	0.42	0.27	-0.43		<b>0.60</b>	<b>0.92</b>	<b>0.58</b>	<b>0.83</b>	<b>0.78</b>	-0.18	<b>0.92</b>	<b>1.00</b>	<b>0.61</b>	<b>0.65</b>	-0.40	0.29
$A_{copa}$	0.17	<b>0.83</b>	<b>0.73</b>	-0.25	<b>0.55</b>		<b>0.72</b>	<b>0.98</b>	<b>0.76</b>	<b>0.78</b>	-0.16	<b>0.72</b>	<b>0.60</b>	<b>0.99</b>	<b>0.73</b>	-0.47	0.28
$A_{tronco}$	0.14	<b>0.55</b>	<b>0.54</b>	-0.16	<b>0.91</b>	<b>0.66</b>		<b>0.74</b>	<b>0.94</b>	<b>0.92</b>	-0.26	<b>1.00</b>	<b>0.92</b>	<b>0.73</b>	<b>0.83</b>	<b>-0.56</b>	0.37
$V_{copa}$	0.16	<b>0.85</b>	<b>0.83</b>	-0.15	<b>0.46</b>	<b>0.97</b>	0.64		<b>0.78</b>	<b>0.79</b>	-0.17	<b>0.74</b>	<b>0.58</b>	<b>0.98</b>	<b>0.79</b>	<b>-0.52</b>	0.37
$V_{tronco}$	0.33	0.22	0.06	<b>-0.60</b>	<b>0.53</b>	<b>0.62</b>	0.40	<b>0.49</b>		<b>0.97</b>	-0.20	<b>0.94</b>	<b>0.83</b>	<b>0.77</b>	<b>0.86</b>	<b>-0.52</b>	0.31
PBC	0.34	0.21	0.04	<b>-0.57</b>	<b>0.46</b>	<b>0.61</b>	0.33	<b>0.48</b>	<b>0.99</b>		-0.17	<b>0.92</b>	<b>0.78</b>	<b>0.78</b>	<b>0.91</b>	<b>-0.59</b>	0.29
SBC	0.00	<b>0.46</b>	0.40	0.07	0.16	0.37	0.20	0.37	0.04	0.01		-0.26	-0.18	-0.20	-0.20	0.26	0.00
AIF	0.14	<b>0.55</b>	<b>0.54</b>	-0.16	<b>0.91</b>	<b>0.66</b>	<b>1.00</b>	<b>0.64</b>	0.40	0.33	0.20		<b>0.92</b>	<b>0.73</b>	<b>0.83</b>	<b>-0.56</b>	0.37
$D_{copa}$	0.18	0.42	0.27	-0.43	<b>1.00</b>	<b>0.55</b>	<b>0.91</b>	<b>0.46</b>	<b>0.53</b>	<b>0.46</b>	0.16	<b>0.91</b>		<b>0.61</b>	<b>0.65</b>	-0.40	0.29
$C_{Tronco}$	0.12	0.35	0.39	-0.31	0.39	<b>0.78</b>	0.42	<b>0.69</b>	<b>0.85</b>	<b>0.84</b>	0.20	0.42	0.91		<b>0.74</b>	-0.45	0.32
$C_{Galhos}$	0.09	<b>0.83</b>	<b>0.82</b>	-0.08	0.29	<b>0.84</b>	<b>0.52</b>	<b>0.93</b>	0.28	0.28	0.34	<b>0.52</b>	0.42	<b>0.50</b>		<b>-0.76</b>	0.36
Hic	-0.20	-0.05	0.31	<b>0.64</b>	-0.14	-0.17	-0.05	-0.15	-0.43	<b>-0.46</b>	0.30	-0.05	0.52	-0.24	-0.23		-0.17
$A_{medio}$	-0.18	-0.11	-0.42	<b>-0.56</b>	0.13	0.01	-0.07	-0.07	0.39	0.37	0.00	-0.07	-0.05	0.23	-0.09	<b>-0.49</b>	

A partir da correlação dos dados, foi feita uma análise dos parâmetros que mais obtiveram relação com o volume do escoamento pelo tronco. Pode-se verificar que as características das árvores da parcela Peri 2 são mais homogêneas que da parcela Peri 1. Na Peri 1, a correlação foi maior devido às 3 árvores dominantes da parcela. Em todos os casos, maior o parâmetro como o diâmetro na altura do peito, maior vai ser o volume, e que por consequência maior vai ser a projeção do tronco e mais galhos vão existir nessa árvore, influenciando no volume que é escoado pelos troncos.

Figura D-4-21 Relação da estrutura da árvore com o volume do escoamento pelo tronco



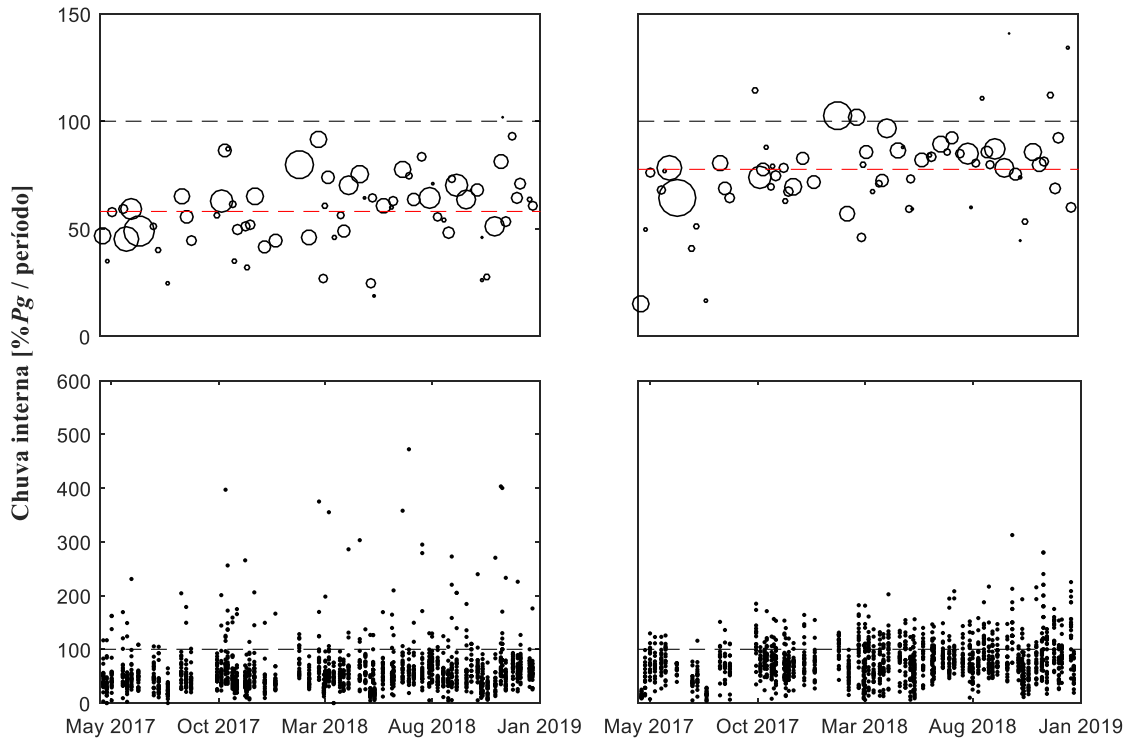
Na Figura 4-22 é apresentada a variação temporal da chuva interna nas duas parcelas da Lagoa do Peri. As Figuras 5 3 ab são os valores individuais de cada pluviômetro e as Figura 5 3cd são a média do período.

Em alguns períodos, nem todos os pluviômetros da *Tf* estavam funcionando. Ocorreram em 20 períodos na Peri 1 e 21 períodos na Peri 2 e somente em um período que a maioria dos pluviômetros de *Tf* estavam completamente cheios ( $Pg = 524$  mm), esse período foi descartado.

Nas Figura 4-22 ab pode-se perceber que nas duas parcelas a distribuição de *Tf* no espaço é heterogênea, uma vez que para cada período obteve uma ampla gama de medições de *Tf*. Como foi identificado no capítulo anterior em florestas altamente heterogêneas as variações entre os medidores obtém elevada variação do volume coletado.

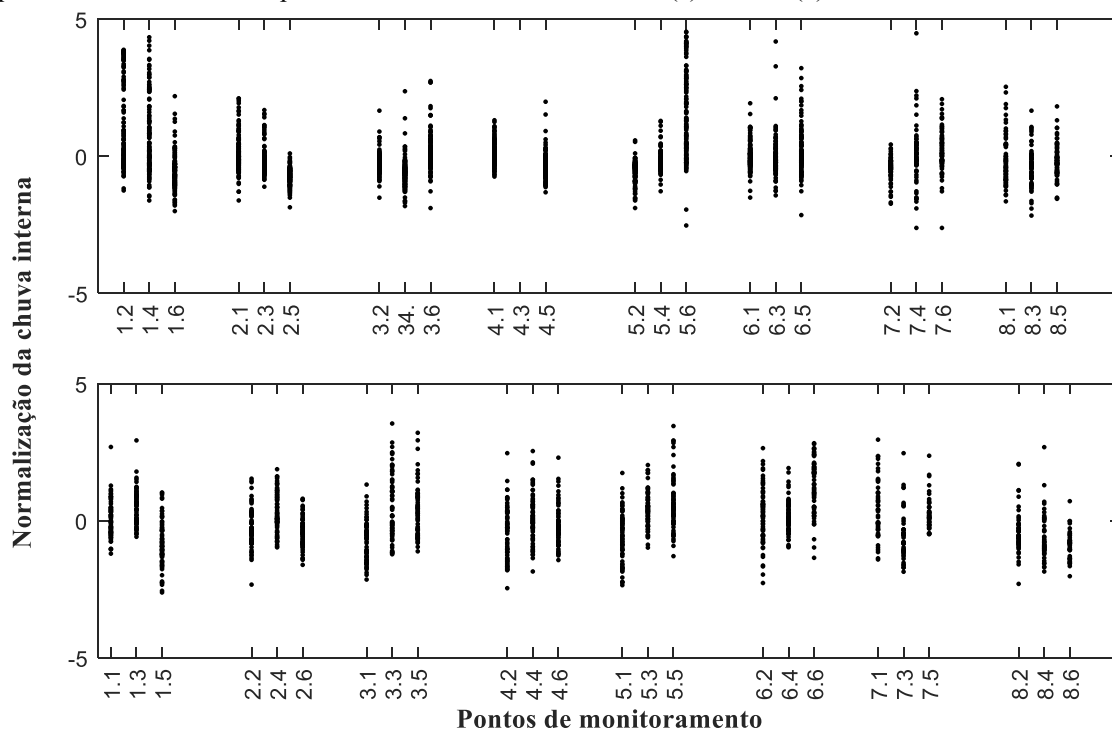
A chuva interna relativa ( $\%Pg$ ) de cada período variou de 32% a 102% sendo, em média de 58% de  $Pg$  na parcela Peri 1 (Figura 4-22c), e de 14% a 140% (média 77%) de  $Pg$  na parcela Peri 2 (Figura 4-22d).

Figura 4-22 Variação temporal da chuva interna média; (a) variação de cada ponto da Peri 1; (b) variação de cada ponto da Peri 2; (c) Variação da proporção da chuva interna da Peri 1; (d) Variação da proporção da chuva interna da Peri 2. O tamanho dos pontos é proporcional a  $P_g$ . As linhas tracejadas correspondem a  $T_f = 100\%$  de  $P_g$  e as linhas vermelhas indicam a média  $T_f$  (para todo os períodos).



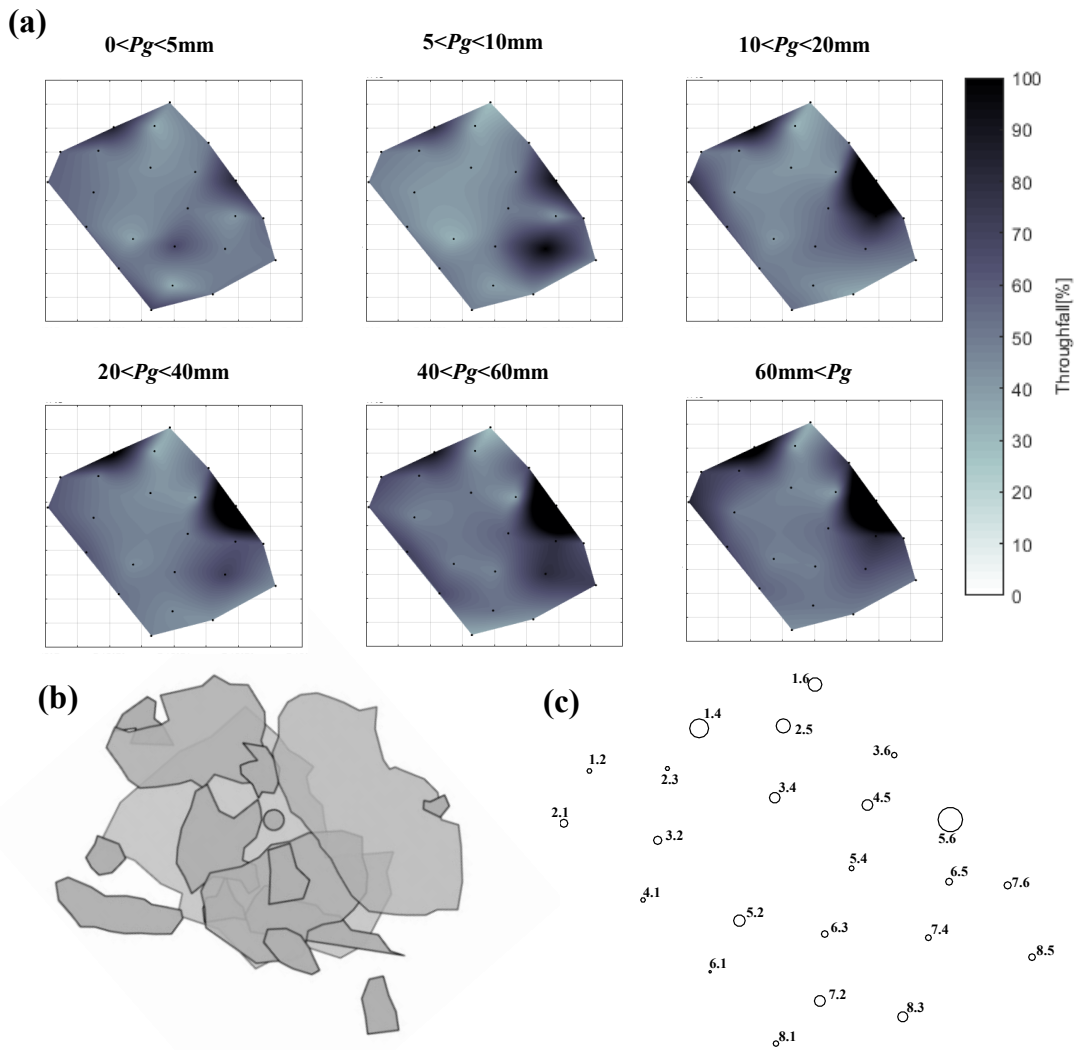
Na análise da estabilidade temporal da distribuição espacial de  $T_f$  (Figura 4-23), fica evidente os caminhos preferencias da chuva interna na parcela Peri 1, como os pluviômetros 1.2, 1.4 e 5.6 (Figura 4-23a) resultando em valores maiores nesses pontos em relação aos outros pluviômetros. Em alguns pontos verificou-se uma grande variação (1.2, 1.4, 5.6 e 6.5) entre os períodos de monitoramento (Figura 4-23a). Entretanto, na parcela Peri 2 não foi possível observar algum caminho preferencial da chuva interna (Figura 4-23b), isso representa, que essa parcela é mais homogênea que a parcela Peri 1.

Figura 4-23 Variabilidade espacial da chuva interna nas parcelas da Lagoa do Peri. Gráfico de estabilidade de tempo do desvio normalizado para média zero e variância unitária (a) Peri 1 e (b) Peri 2.



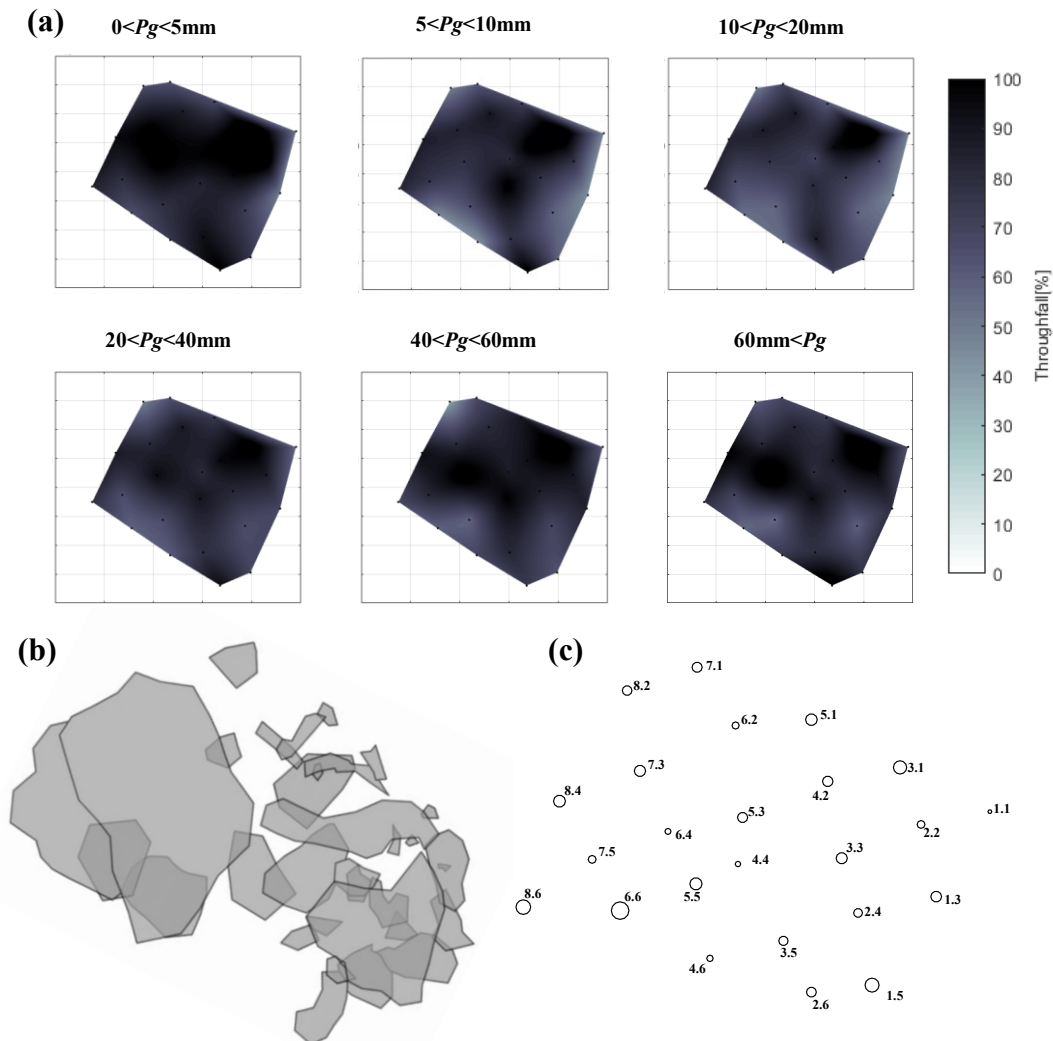
A distribuição espacial da  $Tf$  nas parcelas da Lagoa do Peri é heterogênea (Figura 4-24 e Figura 4-25). Observa-se que na parcela Peri 1 existem alguns pontos preferenciais dentro da parcela e que dependendo do evento, essa distribuição varia de um período para outro (Figura 4-24a), o que não ocorre na parcela Peri 2 (Figura 4-25a) resultando em uma distribuição mais homogênea que o Peri 1. Também é nítido que a proporção da chuva interna no Peri 2 é relativamente maior que na Peri 1.

Figura 4-24 Variabilidade espacial da chuva interna relativa da parcela Peri 1. (a) Distribuição espacial da chuva interna com diferentes classes de chuva externa ( $P_g$ ). Os pontos indicam a posição dos pluviômetros de  $T_f$ . (b) Número de copas sobrepostas. (c) Os círculos indicam a posição dos pluviômetros de  $T_f$ , o tamanho dos pontos é proporcional à variação de desvio padrão.



Na Figura 4-24b e Figura 4-25b, são mostradas as sobreposições de copa das parcelas Peri 1 e Peri 2. Na Parcela Peri 2 as copas das árvores são mais espaçadas que na parcela Peri 1.

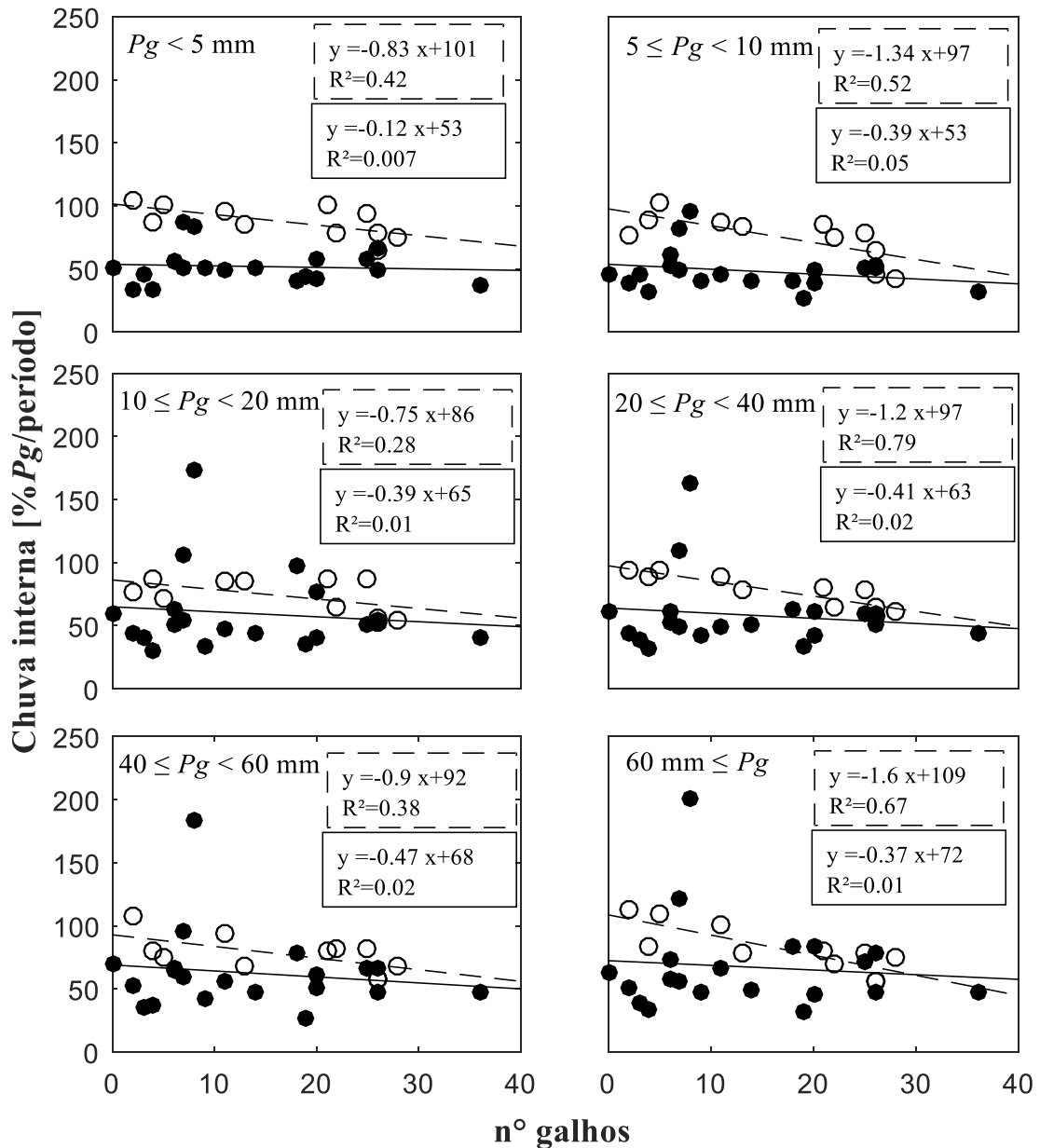
Figura 4-25 Variabilidade espacial da chuva interna relativa da parcela Peri 1. (a) Distribuição espacial da chuva interna com diferentes classes de chuva externa ( $P_g$ ). Os pontos indicam a posição dos pluviômetros de  $T_f$ . (b) Número de copas sobreposta. (c) Os círculos indicam a posição dos pluviômetros de  $T_f$ , o tamanho dos pontos é proporcional à variação de desvio padrão.



Na Figura 4-26 é mostrada a relação entre a densidade dos galhos em cima dos pluviômetros com o valor relativo da chuva interna em relação à chuva externa ( $\%P_g$ ) para diferentes classes de chuva interna. A quantidade de galhos acima dos pluviômetros tem influência na proporção da chuva interna na parcela Peri 2 em eventos entre 20 e 40 mm e para eventos acima de 60 mm. Entretanto, para a parcela Peri 1 não se obteve nenhuma relação da densidade de galhos com a proporção da chuva interna (Figura 4-26). A sobreposição das copas não apresentou nenhuma relação com a proporção da chuva interna nas duas parcelas (Figura 4-28).



Figura 4-26 Relação entre a proporção da chuva interna com o número de galhos sobreposto. Variando entre as classes de chuva externa. Os círculos preenchidos e a linha contínua representam os valores da parcela Peri 1. Os círculos vazios e a linha tracejadas representam os valores da parcela Peri 2.



Como não foi encontrada nenhuma relação significativa entre a proporção da chuva interna (%Pg) e as características das árvores (copa e galhos), pode ser que esses fatores contribuam para a distribuição temporal da chuva interna. Portanto, na Figura 4-27 é mostrado a relação entre a variabilidade da chuva interna com a densidade de galhos acima dos pluviômetros. Assim como na proporção da chuva interna, a parcela Peri 1 não apresentou nenhuma relação. Entretanto para a parcela Peri 2 obteve-se uma forte correlação para eventos acima de 60 mm. Este resultado indica que a chuva interna total em locais com muita densidade de galhos tem uma menor variabilidade entre eventos acima de 60 mm. Para sobreposição de copas (Figura 4-29) não foi obtido nenhuma forte correlação.

Figura 4-27 Relação entre a variabilidade da chuva interna com o número de galhos sobreposto. Variando entre as classes de chuva externa. Os círculos preenchidos e a linha contínua representam os valores da parcela Peri 1. Os círculos vazios e a linha tracejada representam os valores da parcela Peri 2.

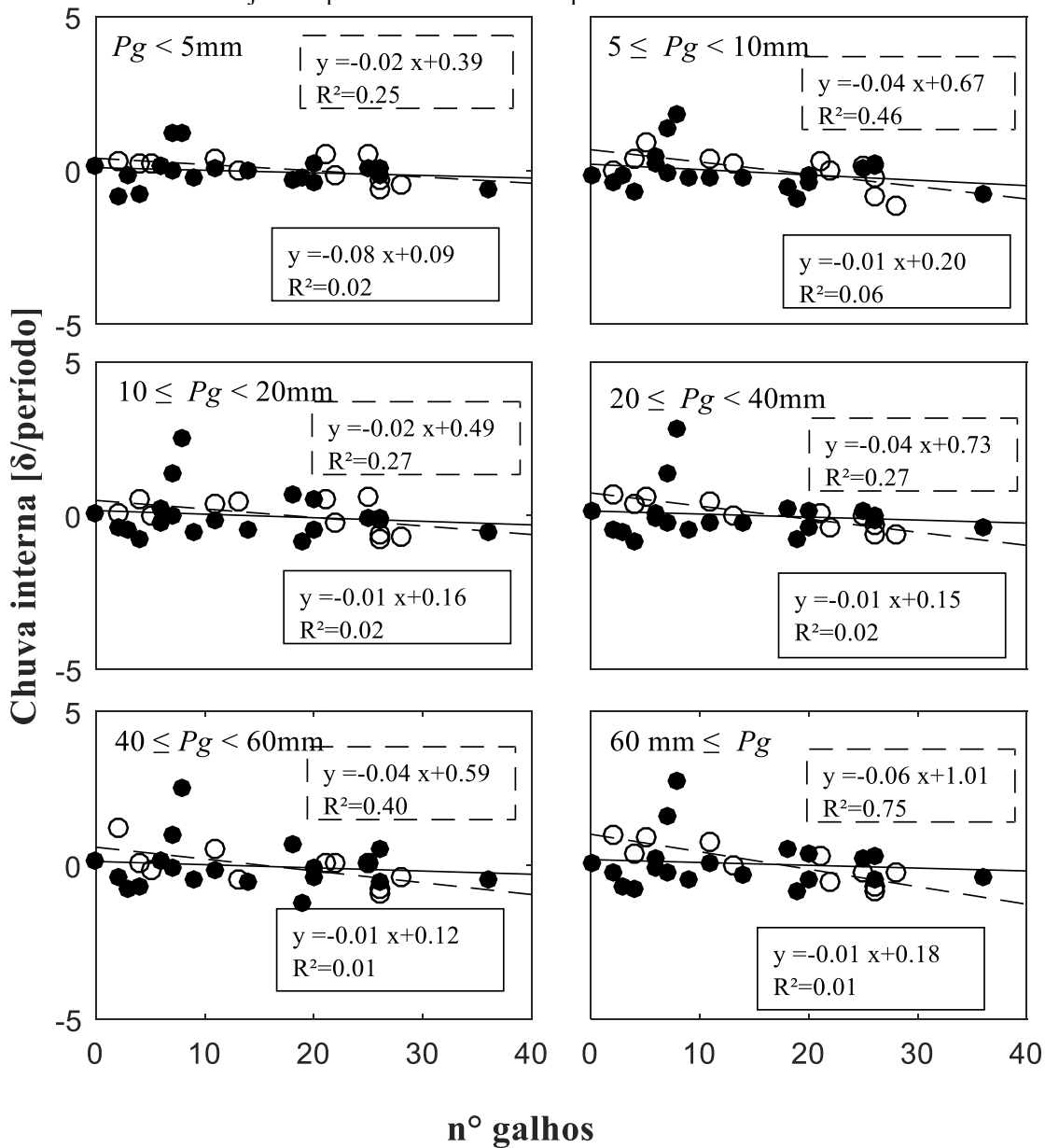


Figura 4-28 Relação entre a proporção da chuva interna com o número de copa sobreposta. Variando entre as classes de chuva externa.

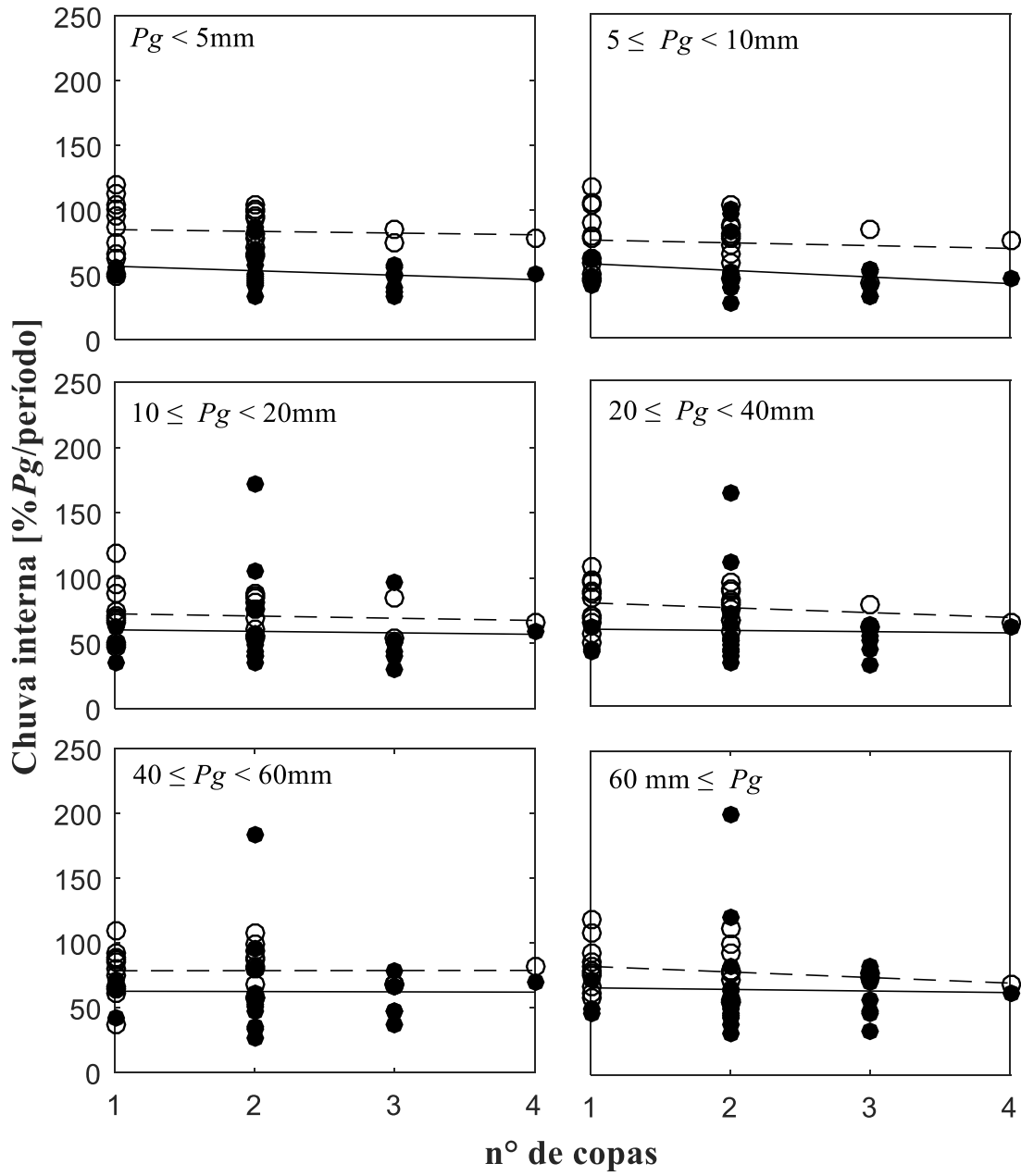
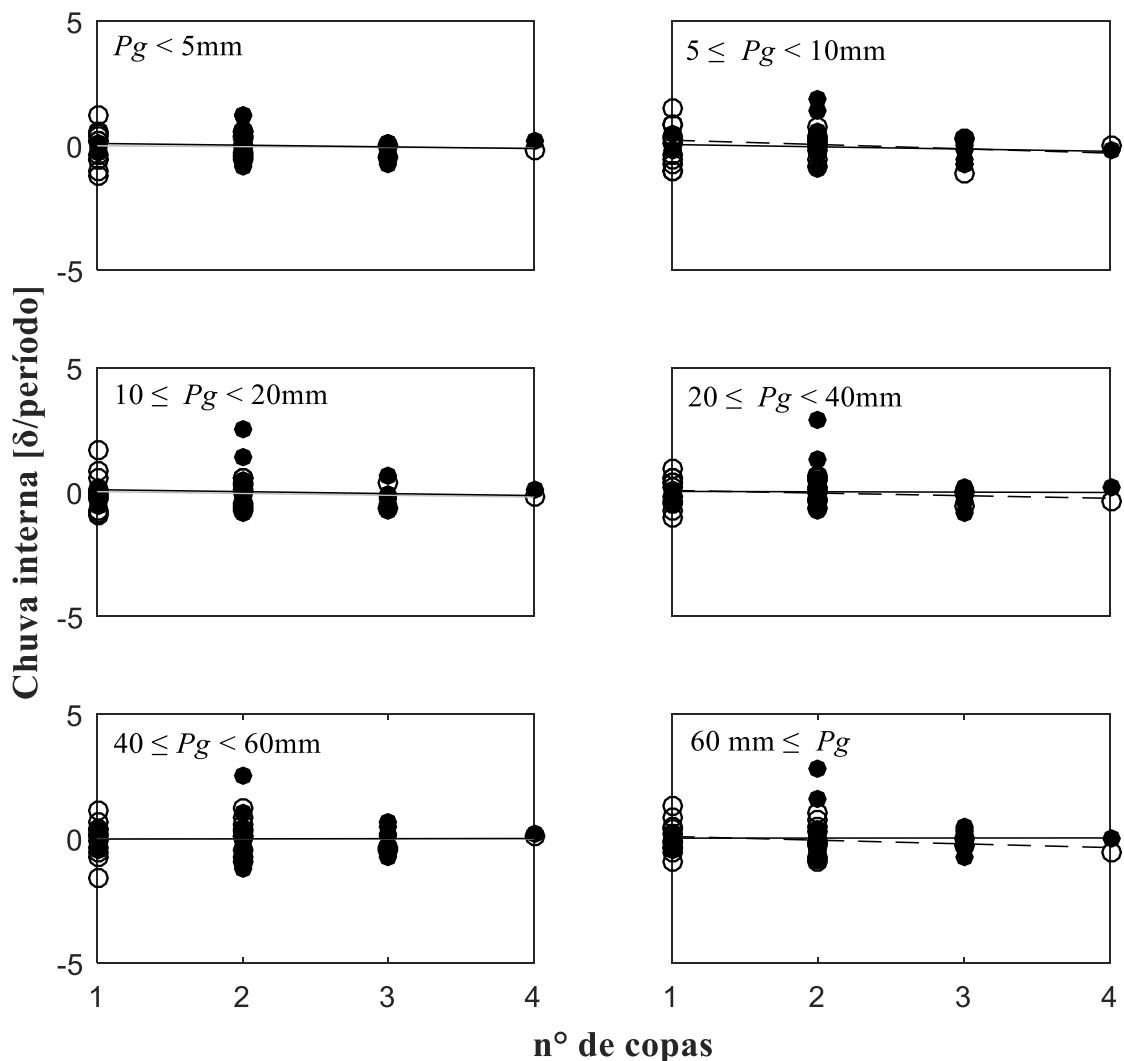


Figura 4-29 Relação entre a normalização da chuva interna com o número de copas sobreposto. Variando entre as classes de chuva externa.



#### 4.4 ANÁLISE DA DINÂMICA DA INTERCEPTAÇÃO DURANTE EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO

O processo de interceptação foi monitorado de outubro de 2015 a dezembro de 2018, totalizando aproximadamente 39 meses de monitoramento em uma parcela com vegetação classificada como restinga arbórea. O registro dos dados foi efetuado de maneira automática a cada 5 minutos.

A série de dados de chuva externa foi obtida por meio de um pluviógrafo instalado em cima do viveiro da Fundação Municipal do Meio Ambiente de Florianópolis (FLORAM) (Figura 3-3c). Ao lado do pluviógrafo foi instalado um pluviômetro para fornecer o volume acumulado da chuva externa. Em caso de valores divergentes dessas duas medições, o período correspondente foi desconsiderado. O pluviógrafo possui diâmetro de abertura de 20 cm e resolução de 0,24 mm.

No monitoramento da chuva interna foi utilizado um sistema de calha ligada a um pluviógrafo (Figura 3-6a). A calha de PVC possui uma área total de captação de 0,3 m<sup>2</sup>, composta por 1 unidade de 3 m de comprimento e 0,1 m de largura.

O monitoramento do volume do escoamento pelos troncos foi realizado em uma árvore da espécie *Ocotea pulchella*, com diâmetro na altura do peito de 15 cm, altura aproximadamente de 7 m e com a área da copa de 4,7 m<sup>2</sup>. Foram utilizadas garrafas cortadas, massa adesiva epóxi e mangueiras de PVC transparentes e flexíveis para captar o escoamento pelos troncos (Figura 3-10c), que passava por um pluviógrafo e depois era armazenado em garrafas PET.

A análise dos dados foi realizada com o objetivo de caracterizar os eventos observados. Assim, a identificação e separação dos eventos neste estudo foram estabelecidas levando em conta os seguintes critérios: (i) o intervalo de tempo mínimo inter-evento (TMI) foi estabelecido em 12 horas, o que significa que registros com intervalos menores foram considerados no mesmo evento; e (ii) eventos com falha no monitoramento de qualquer uma das variáveis analisadas (chuva externa, chuva interna e escoamento pelos troncos) foram descartados. Também foram excluídos eventos com menos de 0,24 mm de chuva externa, o que representa somente uma basculada do pluviógrafo. Os eventos que resultaram em uma perda por interceptação negativa também foram excluídos.

Podemos verificar que as séries temporais do monitoramento automático, como chuva externa (Figura C-3), chuva interna (Figura C-4) e escoamento pelo tronco (Figura C-5) apresentam algumas falhas durante o monitoramento, mas não prejudicou no balanço do processo de interceptação.

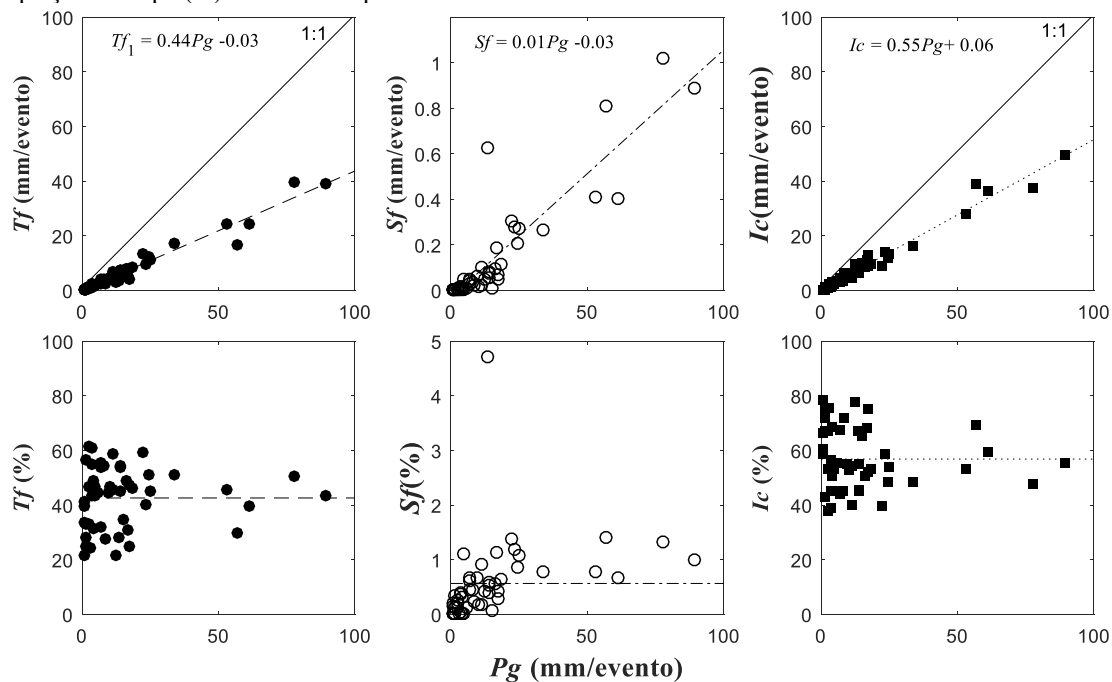
A chuva externa foi monitorada outubro de 2015 a dezembro de 2018. Sendo que na parcela Peri 2 o monitoramento começou em abril de 2016, e não obteve nenhuma falha durante o monitoramento. Na parcela Peri 1 a chuva externa não foi monitorada entre junho de 2017 a marco de 2018.

Para cada evento foram analisados: (i) a variação da taxa de chuva interna ( $Tf$ ), escoamento pelos troncos ( $Sf$ ) e interceptação pela copa ( $Ic$ ) durante os eventos; (ii) a variação dos valores acumulados destas variáveis ao longo do tempo; (iii) a variação dos valores acumulados de  $Tf$ ,  $Sf$  e  $Ic$  em função do acumulado de  $Pg$ ; e (iv) análise da variação de  $Tf/Pg$ ,  $Sf/Pg$  e  $Ic/Pg$  ao longo do tempo.

Falhas no registro automático dos dados da chuva externa, chuva interna e escoamento pelos troncos ocorreram durante o monitoramento. Estes períodos foram descartados da série de dados, resultando em 50 eventos de 327. Nos eventos selecionados para esse estudo a  $Pg$  foi de 766,8 mm,  $Tf$  foi 334,1 mm e  $Sf$  foi de 6,8 mm.

Na Figura 4-30, podemos observar que os valores de chuva interna ( $Tf$ ), escoamento pelos troncos ( $Sf$ ) e a interceptação da copa ( $Ic$ ) aumentam com o aumento da chuva externa ( $Pg$ ) do evento.

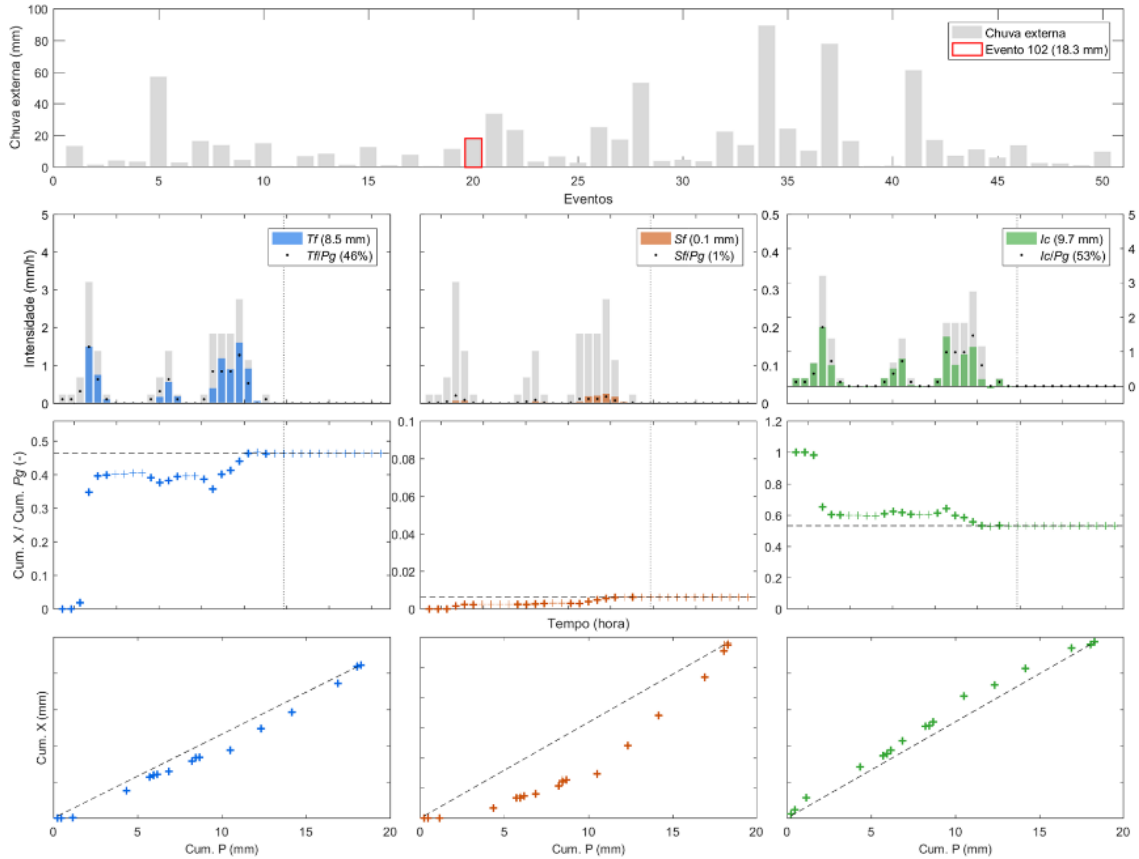
Figura 4-30 Volume totais por evento da chuva interna ( $Tf$ ), escoamento pelos troncos ( $Sf$ ) e perda por interceptação da copa ( $Ic$ ). As linhas representam a média



Os dados com resolução temporal de 5 min foram acumulados para 60 minutos para analisar a variação horária da chuva interna, do escoamento pelos troncos, e da interceptação ao longo dos eventos. Foram selecionados três eventos para esta análise, sendo apresentados os resultados nas Figura 4-31 a Figura 4-33.

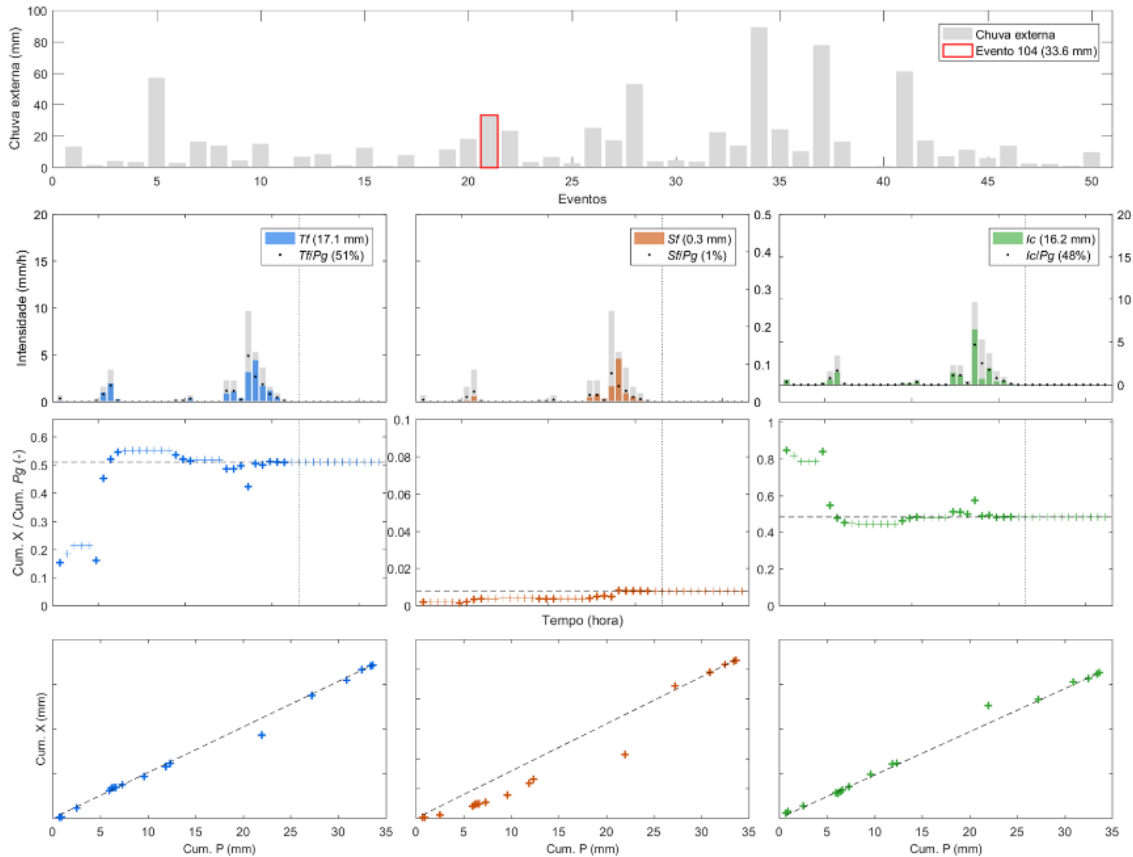
Pode-se observar que nos três eventos os valores de  $Tf/Pg$  e  $Sf/Pg$  nas primeiras horas foram baixos, aumentando logo em seguida. Isso ocorre devido à saturação da vegetação, que precisa de uma quantidade de água retida nas copas para em seguida começar drenar água para o solo ou para os galhos e troncos das árvores. Na Figura 4-31, observamos que ocorreram dois intervalos dentro do evento sem chuva, o primeiro de 5 horas e o segundo de 3 horas de duração. Após estes períodos, observou-se uma redução da proporção da chuva interna acumulada em relação a chuva externa acumulada, o que indica que a capacidade de armazenamento na vegetação foi ao menos parcialmente restaurada durante estes períodos sem chuva.

Figura 4-31 Variação da chuva interna, do escoamento pelos troncos e da interceptação com a chuva externa durante o evento de 18,3 mm com duração de 12 horas. (a) Distribuição dos eventos da chuva, sendo que o evento selecionado está apresentado em vermelho. (b) Variação da intensidade da  $Tf$  e  $Sf$  com a intensidade da chuva externa durante o evento. (c) Relação do acumulado de  $Tf/Pg$ ,  $Sf/Pg$  e  $Ic/Pg$  ao longo do tempo. (d) Relação do acumulado da  $Tf$ ,  $Sf$  e  $Ic$  com o acumulado de  $Pg$ .



Essa diminuição da proporção da chuva interna durante o evento após períodos sem chuva externa também ocorreu no segundo evento (Figura 4-32). A água que estava retida na vegetação pode ter sido perdida por evaporação ou pela própria drenagem dos troncos. A análise da variação do escoamento pelos troncos durante o evento não indicou um aumento significativo da proporção de escoamento pelos troncos durante estes períodos sem chuva, sugerindo que a restauração da capacidade de armazenamento da vegetação pode ter ocorrido majoritariamente por evaporação da água armazenada. A redução da proporção da  $Tf$  após algumas horas sem chuva confirma a hipótese de que as taxas de evaporação podem ser elevadas durante os eventos causando, assim, o esvaziamento do armazenamento da copa e do tronco da árvore.

Figura 4-32 Variação da chuva interna e escoamento pelo tronco com a chuva externa durante o evento de 16,2 mm com duração de 32 horas (a) Distribuição dos eventos da chuva. (b) Variação da intensidade da  $Tf$ ,  $Sf$  e  $Ic$  com a intensidade da chuva externa, durante o evento. (c) Relação do acumulado de  $Tf/Pg$ ,  $Sf/Pg$  e  $Ic/Pg$  ao longo do tempo. (d) Relação do acumulado da  $Tf$ ,  $Sf$  e  $Ic$  com o acumulado de  $Pg$ .

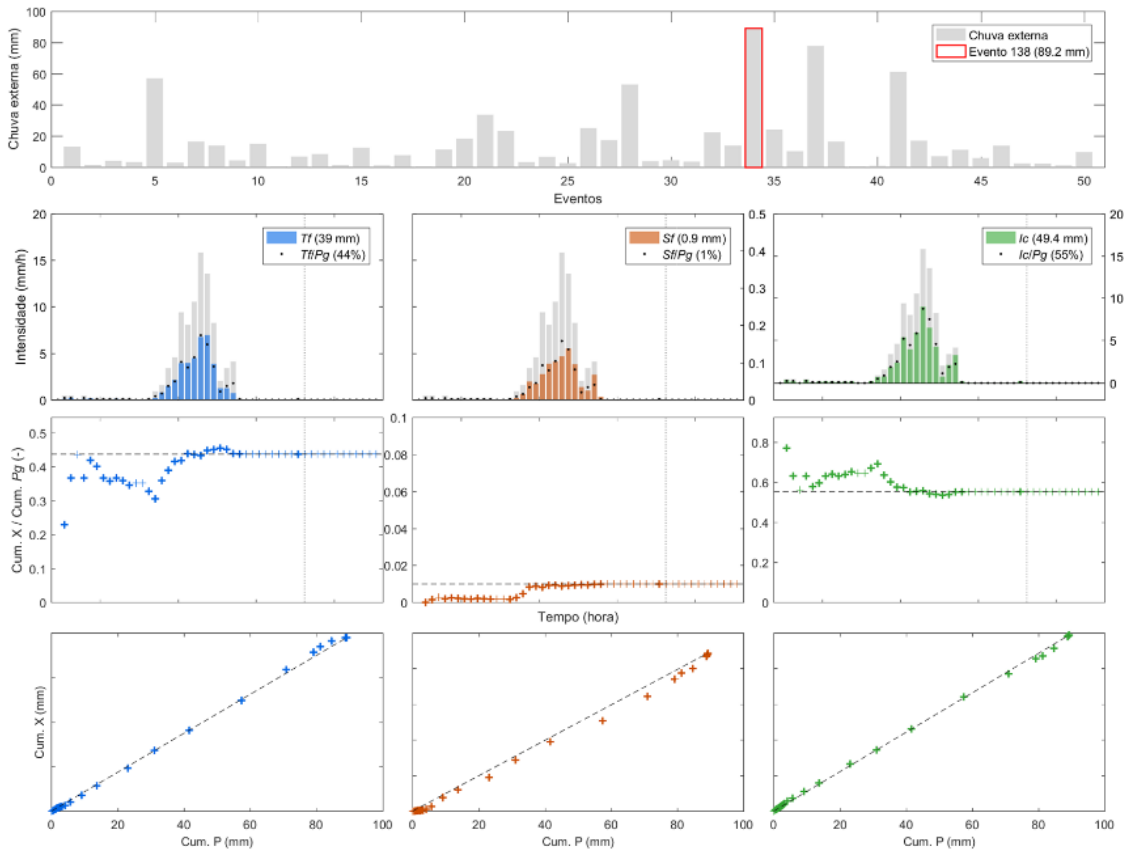


O último evento selecionado (Figura 4-33) foi diferente dos outros dois apresentados anteriormente. Nesse evento, a chuva externa começou com baixa intensidade e com muitos pequenos intervalos sem chuva, tendo uma duração de 15 horas até a intensidade da chuva aumentar. Durante este período inicial, houve uma grande variação da proporção de chuva interna acumulada em relação à proporção de chuva externa acumulada, refletindo o esvaziamento e enchimento parcial da vegetação. Após o início de maiores intensidades de chuva, a proporção de chuva interna acumulada aumentou indicando a saturação da vegetação, com uma maior quantidade de água da chuva chegando ao solo.

A análise da evolução dos valores acumulados de escoamento pelos troncos em relação aos valores acumulados de chuva externa (painel inferior das Figura 4-31 a Figura 4-33.) indica que a taxa de geração de escoamento pelos troncos aumenta durante toda a duração do evento, sugerindo que novos caminhos estão sendo continuamente criados. O aumento da interceptação acumulada em relação à chuva externa acumulada durante todo o evento, atingindo valores de 50 mm em 12 horas para o terceiro evento (painel inferior da Figura 4-33.), pode ser um indicativo que a chuva interna e o escoamento pelos troncos nesta parcela foram subestimados.



Figura 4-33 Variação da chuva interna e escoamento pelo tronco com a chuva externa durante o evento de 89,2 mm com duração de 37 horas. (a) Distribuição dos eventos da chuva. (b) Variação da intensidade da  $Tf$ ,  $Sf$  e  $Ic$  com a intensidade da chuva externa, durante o evento. (c) Relação do acumulado de  $Tf/Pg$ ,  $Sf/Pg$  e  $Ic/Pg$  ao longo do tempo. (d) Relação do acumulado da  $Tf$ ,  $Sf$  e  $Ic$  com o acumulado de  $Pg$ .





## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho monitorou o processo de interceptação em duas bacias coberta por Floresta de Mata Atlântica, com o objetivo de entender e compreender o processo de interceptação foi realizado um sistema de monitoramento de chuva externa, chuva interna, escoamento pelo tronco e levantamento das características da vegetação em duas áreas cobertas por florestas ombrófilas (Densa e Mista).

Tanto a chuva interna ( $Tf$ ) como o escoamento pelo tronco ( $Sf$ ) são bastante heterogêneos e estão relacionados com a chuva externa e as características da vegetação. A chuva interna variou entre 58 e 73% da chuva externa. O volume do escoamento pelo tronco variou de 1,5 a 6% da chuva externa e não apresentou correlação forte com nenhum parâmetro da estrutura da copa. Existe um padrão espacial de distribuição da chuva interna na parcela, sugerindo que a vegetação pode desempenhar um papel importante na redistribuição da chuva no tempo e no espaço nesta floresta. No entanto, não observamos qualquer relação satisfatória entre os índices de cobertura do dossel e  $Tf$  (CCF, LAI e o número de copas sobrepostas acima de cada pluviômetro de  $Tf$ ).

A variação da  $Tf$  entre eventos em cada pluviômetro foi positivamente relacionada ao CCF (tempo médio de CCF para cada pluviômetro de  $Tf$ ), LAI (LAI médio de tempo para cada pluviômetro  $Tf$ ) e o número de sobreposições de copa acima de cada pluviômetro de  $Tf$ . Esses resultados indicam que locais com um maior número de camadas de copas têm um maior potencial para criar caminhos preferenciais, o que, dependendo das características da tempestade, leva à uma grande variabilidade espacial da chuva interna. Para eventos menores, a capacidade de armazenamento do dossel pode ser o principal controle da quantidade de chuva que chega ao solo.

Nas bacias estudadas, a estrutura da árvore interferiu no volume distribuído do escoamento pelo tronco e da chuva interna. Na bacia da Araponga, foi possível concluir que em eventos com chuva externa menor que 60 mm ocorreram caminhos preferenciais do volume da chuva interna em pontos com maior número de copas sobrepostas. Na Lagoa do Peri, foi observado que a chuva interna pode sofrer influência da densidade de galhos sobrepostos para grandes eventos ( $Pg > 60$  mm).

A estimativa do escoamento pelo tronco ainda tem uma incerteza elevada associada à dificuldade em medir e determinar as características das estruturas de diferentes árvores. Embora o escoamento pelo tronco nesse estudo represente menos que 10% da chuva externa, o volume total em algumas árvores foi bastante elevado (mais de 100 litros em eventos acima de

40 mm). O volume de escoamento pelo tronco teve fortes correlações com o diâmetro na altura do peito, projeção da área da copa, projeção da área do tronco, número de galhos primários, ângulo de interseção da primeira bifurcação e o comprimento do tronco principal, em apenas uma das 4 parcelas monitoradas (restinga arbórea – Peri 1).

Foi possível observar que duas parcelas com o mesmo tipo de vegetação (Mata Atlântica- Lagoa do Peri), mas com características diferentes, apresentaram distribuições diferentes da chuva interna e escoamento pelo tronco e apresentaram correlações distintas. Desta forma, é possível salientar que a estrutura das árvores é um fator importante para a distribuição da água que chega no solo

As características da chuva externa influenciam na dinâmica do processo de interceptação e a capacidade de armazenamento da copa é parcialmente restaurada várias vezes durante um evento. A evaporação (redução de  $Tf/Pg$ ) podem ser elevados durante o evento, reduzindo a proporção da chuva interna após um período sem chuva e que o fluxo do escoamento pelo tronco pode aumentar durante o evento. A fração da chuva interna e escoamento pelo tronco aumentam ao longo do evento. Isso ocorre devido a saturação da copa e dos troncos das árvores, ou seja, a capacidade de armazenamento da copa ( $Sc$ ) e do tronco ( $St$ ).

A variação da chuva interna, do escoamento pelo tronco e da interceptação foi apresentada para três eventos selecionados e podemos concluir que: (i) a capacidade de armazenamento da copa é parcialmente restaurada várias vezes durante um evento, o que foi evidenciado pela diminuição do valor de  $Tf/Pg$  acumulado após períodos de seca entre evento; (ii) a redução da proporção da  $Tf$  após algumas horas sem chuva confirma a hipótese de que as taxas de evaporação podem ser elevadas durante os eventos, já que durante estes períodos sem chuva não houve aumento no escoamento pelos troncos; e (iii) a taxa de geração de escoamento pelos troncos aumenta durante toda a duração do evento, indicando que novos caminhos estão sendo continuamente criados.

Apesar de necessário, não foi possível investigar os efeitos da perda por interceptação do chão da floresta. Os resultados apresentados neste estudo mostram a dificuldade de se utilizar índices de cobertura do dossel para representar a redistribuição espacial da chuva pela vegetação em florestas altamente heterogêneas. Mais estudos são necessários para investigar outros fatores que controlam a variabilidade espacial da chuva interna.

## REFERÊNCIAS

- ABOAL, J. R. et al. Rainfall interception in laurel forest in the Canary Islands. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 97, n. 2, p. 73–86, out. 1999.
- ALLEN, S. T. T. et al. The role of pre-event canopy storage in throughfall and stemflow by using isotopic tracers. **Ecohydrology**, v. 7, n. 2, p. 858–868, 1 abr. 2014.
- ALVES, R. F. et al. Avaliação da precipitação efetiva de um fragmento de Mata Atlântica em diferentes estágios de regeneração no município de Viçosa, MG. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 2, n. 1, p. 83–93, abr. 2007.
- ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. DE; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - São Paulo. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 257–262, abr. 2003.
- ASTON, A. R. Rainfall interception by eight small trees. **Journal of Hydrology**, v. 42, n. 3–4, p. 383–396, jul. 1979.
- ÁVILA, L. F. et al. Partição da precipitação pluvial em uma microbacia hidrográfica ocupada por mata atlântica na serra da Mantiqueira, MG. **Ciencia Florestal**, v. 24, n. 3, p. 583–595, 2014.
- BENYON, R. G.; DOODY, T. M. Comparison of interception, forest floor evaporation and transpiration in *Pinus radiata* and *Eucalyptus globulus* plantations. **Hydrological Processes**, v. 29, n. 6, p. 1173–1187, 15 mar. 2015.
- BIALKOWSKI, R.; BUTTLE, J. M. Stemflow and throughfall contributions to soil water recharge under trees with differing branch architectures. **Hydrological Processes**, v. 29, n. 18, p. 4068–4082, 2015.
- BLÖSCHL, G. et al. Twenty-three unsolved problems in hydrology (UPH) – a community perspective. **Hydrological Sciences Journal**, v. 64, n. 10, p. 1141–1158, 27 jul. 2019.
- BOSCH, J. M.; HEWLETT, J. D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, v. 55, p. 3–23, 1982.
- BRUTSAERT, W. **Hydrology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- BULCOCK, H. H.; JEWITT, G. P. W. Spatial mapping of leaf area index using

hyperspectral remote sensing for hydrological applications with a particular focus on canopy interception. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 14, n. 2, p. 5783–5809, 25 fev. 2010.

CABRAL, L. O. **Bacia da Lagoa do Peri : sobre as dimensões da paisagem e seu valor**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

CARDOSO, F. DA S. et al. Análise do uso e ocupação da terra na bacia da lagoa do Peri Florianópolis (SC). **Caminhos de geografia**, v. 9, n. 27, p. 201–213, 2008.

CARLYLE-MOSES, D. E.; SCHOOLING, J. T. Tree traits and meteorological factors influencing the initiation and rate of stemflow from isolated deciduous trees. **Hydrological Processes**, v. 29, n. 18, p. 4083–4099, 2015.

CASTRO, P. S. et al. Intercepção da chuva por mata natural secundária na região de Viçosa – MG. **Revista Árvore**, v. 7, n. 1, p. 76–89, 1983.

CHAFFE, P. L. B. et al. Is Interception Information Important for Rainfall-Runoff Modeling ? **Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE**, v. 54, p. 73–78, 2010.

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. **Hydrological Processes**, v. 14, n. 16–17, p. 2903–2920, nov. 2000.

CUARTAS, L. A. et al. Interception water-partitioning dynamics for a pristine rainforest in Central Amazonia: Marked differences between normal and dry years. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 145, n. 1–2, p. 69–83, jul. 2007.

DAVID, J. S.; VALENTE, F.; GASH, J. H. Evaporation of Intercepted Rainfall. In: **Encyclopedia of Hydrological Sciences**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2005.

DEGUCHI, A.; HATTORI, S.; PARK, H.-T. The influence of seasonal changes in canopy structure on interception loss: Application of the revised Gash model. **Journal of Hydrology**, v. 318, n. 1–4, p. 80–102, mar. 2006.

DELPHIS F. LEVIA; CARLYLE-MOSES, D.; TADASHI TANAKA. **Forest hydrology and biogeochemistry, Synthesis of past research and future directions**. [s.l: s.n.].

v. 216

DINGMAN, S. L. **Physical Hydrology**. Prentice H ed. Upper Saddle River: [s.n.].

DINIZ, A. R. et al. Precipitação e aporte de nutrientes em diferentes estádios sucessionais de floresta Atlântica, Pinheiral - RJ. **Ciencia Florestal**, v. 23, n. 3, p. 389–399, 2013.

DUNKERLEY, D. Identifying individual rain events from pluviograph records: a review with analysis of data from an Australian dryland site. **Hydrological Processes**, v. 22, n. 26, p. 5024–5036, 30 dez. 2008.

DUNKERLEY, D. Stemflow production and intrastorm rainfall intensity variation: An experimental analysis using laboratory rainfall simulation. **Earth Surface Processes and Landforms**, 2014.

FAN, J. et al. Spatial variability of throughfall and stemflow in an exotic pine plantation of subtropical coastal Australia. **Hydrological Processes**, v. 29, n. 5, p. 793–804, 2015.

FATICHI, S.; PAPPAS, C.; IVANOV, V. Y. Modeling plant-water interactions: an ecohydrological overview from the cell to the global scale. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 3, n. 3, p. 327–368, maio 2016.

FENICIA, F. et al. Understanding catchment behavior through stepwise model concept improvement. **Water Resources Research**, v. 44, n. 1, p. 1–13, 2008.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; DALLAROSA, R. L. G. Precipitação 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.

FLEISCHBEIN, K. et al. Rainfall interception in a lower montane forest in Ecuador: Effects of canopy properties. **Hydrological Processes**, v. 19, n. 7, p. 1355–1371, 2005.

FONTES, M. L. S. et al. Dynamics of planktonic prokaryotes and dissolved carbon in a subtropical coastal lake. **Frontiers in Microbiology**, v. 4, n. APR, p. 1–9, 2013.

FRANKEN, W. K. et al. Estudo da interceptação da água de chuva em cobertura florestal amazônica do tipo terra firme. **Acta Amazonica**, v. 12, n. 2, p. 327–331, jun. 1982.

GASPAROTO, E. A. G. et al. Throughfall in different forest stands of Iperó, São Paulo. **Cerne**, v. 20, n. 2, p. 303–310, 2014.

GERMER, S.; ELSENBEER, H.; MORAES, J. M. Throughfall and temporal trends of rainfall redistribution in an open tropical rainforest, south-western Amazonia (Rondônia, Brazil). **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 2, n. 6, p. 2707–2738, 19 dez. 2005.

GERRITS, A. M. J.; PFISTER, L.; SAVENIJE, H. H. G. Spatial and temporal variability of canopy and forest floor interception in a beech forest. **Hydrological Processes**, v. 24, n. 21, p. 3011–3025, 2010.

GERRITS, A. M. J.; SAVENIJE, H. H. G. Interception. **Treatise on Water Science**, n. 1971, p. 89–101, 2011.

GIGLIO, J. N. **Interceptação da chuva em pequena bacia experimental coberta por floresta ombrofila mista**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

GIGLIO, J. N.; KOBAYAMA, M. Interceptação da Chuva: Uma Revisão com Ênfase no Monitoramento em Florestas Brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 2, p. 297–317, 2013.

GÓMEZ, J. A.; GIRÁLDEZ, J. V.; FERERES, E. Rainfall interception by olive trees in relation to leaf area. **Agricultural Water Management**, v. 49, n. 1, p. 65–76, jul. 2001.

HE, Z. BIN et al. Spatial variability of canopy interception in a spruce forest of the semiarid mountain regions of China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 188, n. October 2012, p. 58–63, 2014.

HELVEY, J. D.; PATRICK, J. H. Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods of eastern United States. **Water Resources Research**, v. 1, n. 2, p. 193–206, jun. 1965.

HENNEMANN, M. C.; PETRUCIO, M. M. Seasonal phytoplankton response to increased temperature and phosphorus inputs in a freshwater coastal lagoon, Southern Brazil: a microcosm bioassay. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 22, n. 3, p. 295–305, 2010.

HENNEMANN, M. C.; PETRUCIO, M. M. Spatial and temporal dynamic of trophic relevant parameters in a subtropical coastal lagoon in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 181, n. 1–4, p. 347–361, 2011.

HERBST, M. et al. Measuring and modelling the rainfall interception loss by hedgerows in southern England. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 141, n. 2–4, p. 244–



256, 2006.

HERBST, M. et al. Seasonal variability of interception evaporation from the canopy of a mixed deciduous forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 148, n. 11, p. 1655–1667, 2008.

HERWITZ, S. R. Infiltration-excess caused by Stemflow in a cyclone-prone tropical rainforest. **Earth Surface Processes and Landforms**, 1986.

HEWLETT, J. D. **Principles of Forest Hydrology** Eos, Transactions American Geophysical Union, 1983.

HINKEL, R. **Aspectos da Ciclagem de Nutrientes de Dois Estádios Sucessionais de Floresta Ombrófila Densa do Parque Municipal da Lagoa do Peri, Ilha De Santa Catarina, SC.** [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

HONDA, E. A.; MENDONÇA, A. H.; DURIGAN, G. Factors affecting the stemflow of trees in the Brazilian Cerrado. **Ecohydrology**, v. 8, n. 7, p. 1351–1362, out. 2015.

HÖRMANN, G. et al. Calculation and simulation of wind controlled canopy interception of a beech forest in Northern Germany. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 79, n. 3, p. 131–148, 1996.

HORTON, R. E. Rainfall interception. **Monthly Weather Review**, v. 47, n. 9, p. 603–623, 1 set. 2005.

IIDA, S. et al. Intrastorm scale rainfall interception dynamics in a mature coniferous forest stand. **Journal of Hydrology**, v. 548, p. 770–783, 2017.

JOHNSON, R. C. The interception, throughfall and stemflow in a forest in Highland Scotland and the comparison with other upland forests in the U.K. **Journal of Hydrology**, v. 118, n. 1–4, p. 281–287, out. 1990.

KEIM, R. F.; SKAUGSET, A. E.; WEILER, M. Temporal persistence of spatial patterns in throughfall. **Journal of Hydrology**, v. 314, n. 1–4, p. 263–274, nov. 2005.

KONISHI, S. et al. Characteristics of spatial distribution of throughfall in a lowland tropical rainforest, Peninsular Malaysia. **Forest Ecology and Management**, v. 224, n. 1–2, p. 19–25, 2006.

KUERTEN, R. M. **Produção de cartas de uso e cobertura da terra a partir de dados obtidos por sensores remotos, área teste :: Parque Municipal da Lagoa do Peri.** [s.l.]

Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

LEMES-SILVA, A. L.; PAGLIOSA, P. R.; PETRUCIO, M. M. Inter- and intra-guild patterns of food resource utilization by chironomid larvae in a subtropical coastal lagoon. **Limnology**, v. 15, n. 1, p. 1–12, 2014.

LEVIA, D. F. et al. Throughfall and Stemflow in Wooded Ecosystems. In: [s.l: s.n.]. p. 425–443.

LEVIA, D. F. et al. Differential stemflow yield from European beech saplings: the role of individual canopy structure metrics. **Hydrological Processes**, v. 29, n. 1, p. 43–51, 1 jan. 2015.

LEVIA, D. F.; FROST, E. E. Variability of throughfall volume and solute inputs in wooded ecosystems. **Progress in Physical Geography**, v. 30, n. 2006, p. 605–632, 2006.

LEVIA, D. F.; GERMER, S. A review of stemflow generation dynamics and stemflow-environment interactions in forests and shrublands. **Reviews of Geophysics**, v. 53, n. 3, p. 673–714, 1 set. 2015.

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. **Journal of Hydrology**, v. 274, p. 1–29, 2003.

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

LINK, T. E.; UNSWORTH, M.; MARKS, D. The dynamics of rainfall interception by a seasonal temperate rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 124, n. 3–4, p. 171–191, 2004.

LIU, H. et al. Stemflow of water on maize and its influencing factors. **Agricultural Water Management**, v. 158, p. 35–41, 2015.

LLORENS, P.; DOMINGO, F. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. **Journal of Hydrology**, v. 335, n. 1–2, p. 37–54, 2007.

LLORENS, P.; GALLART, F. A simplified method for forest water storage capacity measurement. **Journal of Hydrology**, v. 240, n. 1–2, p. 131–144, dez. 2000.

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

LLOYD, C. R. et al. The measurement and modelling of rainfall interception by Amazonian rain forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 43, n. 3–4, p. 277–294, set. 1988.

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

LORENZON, A. S.; DIAS, H. C. T.; LEITE, H. G. Precipitação efetiva e interceptação da chuva em um fragmento florestal com diferentes estágios de regeneração. **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, p. 619–627, 2013.

MACFARLANE, C. et al. Estimation of leaf area index in eucalypt forest using digital photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 143, n. 3–4, p. 176–188, 2007.

MANFROI, O. J. et al. Comparison of conventionally observed interception evaporation in a 100-m<sup>2</sup> subplot with that estimated in a 4-ha area of the same Bornean lowland tropical forest. **Journal of Hydrology**, v. 329, n. 1–2, p. 329–349, 2006.

MARIN, C. T.; BOUTEN, W.; SEVINK, J. Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia. **Journal of Hydrology**, v. 237, n. 1–2, p. 40–57, out. 2000.

MAROTTA, H.; FONTES, M. L. S.; PETRUCIO, M. M. Natural events of anoxia and low respiration index in oligotrophic lakes of the Atlantic Tropical Forest. **Biogeosciences**, v. 9, n. 8, p. 2879–2887, 2012.

MOSER, J. M. Geografia do Brasil: Região Sul. In: IBGE ED (Ed.). . **Solos**. Rio de Janeiro: [s.n.]. p. 81–102.

MOTA, A. DE A. et al. Instalação de uma pequena bacia experimental florestal: estudo de caso da bacia do Rio Araponga. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 73–80, 2017.

MOURA, A. et al. Precipitação Efetiva nos Períodos Chuvoso e Pouco Chuvoso em um Fragmento de Mata Atlântica, Recife/PE. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17,

n. 4, p. 7–16, 2012.

MOURA, A. E. S. S. DE et al. Interceptação das chuvas em um fragmento de floresta da Mata Atlântica na Bacia do Prata, Recife, PE. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 461–469, 2009.

MULULO SATO, A.; DE SOUZA AVELAR, A.; COELHO NETTO, A. L. Spatial variability and temporal stability of throughfall in a eucalyptus plantation in the hilly lowlands of southeastern Brazil. **Hydrological Processes**, v. 25, n. 12, p. 1910–1923, 15 jun. 2011.

MUZYLO, A. et al. A review of rainfall interception modelling. **Journal of Hydrology**, v. 370, n. 1–4, p. 191–206, maio 2009.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 2000.

NÁVAR, J. Stemflow variation in Mexico's northeastern forest communities: Its contribution to soil moisture content and aquifer recharge. **Journal of Hydrology**, v. 408, n. 1–2, p. 35–42, 2011.

NEGRÓN JUÁREZ, R. I. et al. An improved estimate of leaf area index based on the histogram analysis of hemispherical photographs. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 6–7, p. 920–928, 2009.

OLIVEIRA, D. Y. **Identificação dos parâmetros de um modelo de interceptação utilizando um algoritmo de calibração automática**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

OLIVEIRA, L. L. DE et al. Precipitação efetiva e interceptação em Caxiuanã, na Amazônia Oriental. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 723–732, dez. 2008.

OLIVEIRA, J. S. Análise Sedimentar Em Zonas Costeiras: Subsídio Ao Diagnóstico Ambiental Da Lagoa Do Peri – Ilha De Santa Catarina-Sc, Brasil. p. 154, 2002.

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

PEKIN, B.; MACFARLANE, C. Measurement of crown cover and leaf area index using digital cover photography and its application to remote sensing. **Remote Sensing**, v. 1, n. 4, p. 1298–1320, 2009.

PEREIRA, M. A. **Diagnóstico físico e socioambiental do Parque Municipal da Lagoa do Peri. Subsídio ao Plano de Manejo**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina,

2001.

PITMAN, J. I. Rainfall interception by bracken in open habitats - Relations between leaf area, canopy storage and drainage rate. **Journal of Hydrology**, v. 105, n. 3–4, p. 317–334, 1989.

PRICE, A. G.; CARLYLE-MOSES, D. E. Measurement and modelling of growing-season canopy water fluxes in a mature mixed deciduous forest stand, southern Ontario, Canada. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 119, n. 1–2, p. 69–85, 2003.

PYPKER, T. G. et al. The importance of canopy structure in controlling the interception loss of rainfall: Examples from a young and an old-growth Douglas-fir forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 130, n. 1–2, p. 113–129, 2005.

RAHMANI, R.; SADODDIN, A.; GHORBANI, S. Measuring and modelling precipitation components in an Oriental beech stand of the Hyrcanian region, Iran. **Journal of Hydrology**, v. 404, n. 3–4, p. 294–303, 2011.

REZENDE, R. DE S. et al. Efeito das variáveis abióticas sobre a decomposição de detritos em mangues subtropicais brasileiros. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 25, n. 2, p. 158–168, 2013.

SÁ, J. H. M. **Monitoramento e modelagem do processo de interceptação da chuva de uma bacia coberta por floresta ombrófila mista**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

SÁ, J. H. M. et al. The influence of the interception process on the precipitation quality in a catchment covered by subtropical Atlantic Forest. **RBRH**, v. 21, n. 4, p. 742–751, 10 out. 2016.

SÁ, J. H. M.; CHAFFE, P. L. B.; OLIVEIRA, D. Y. Análise comparativa dos modelos de gash e de rutter para a estimativa da interceptação por floresta ombrófila mista / A comparative analysis of the gash and the rutter models for the estimation of rainfall interception by mixed ombroph. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 1008–1018, 2015.

SANTA CATARINA. **Bacias hidrográficas de Santa Catarina: diagnóstico geral**. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. [s.l: s.n.].

SARI, V.; PAIVA, E.; PAIVA, J. Precipitação interna em Floresta Atlântica: comparação entre os sistemas de monitoramento fixo e móvel /Throughfall in the Atlantic

Forest: comparison between fixed and mobile monitoring systems. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 849–861, 2015.

SAVENIJE, H. H. G. The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. **Hydrological Processes**, v. 18, n. 8, p. 1507–1511, 15 jun. 2004.

SCHEER, M. B. Fluxo de nutrientes pela precipitação pluviométrica em dois trechos de Floresta Ombrófila Densa em Guaraqueçaba, Paraná. **Floresta**, v. 39, n. 1, p. 117–130, 27 mar. 2009.

SCHROTH, G. et al. Distribution of throughfall and stemflow in multi-strata agroforestry, perennial monoculture, fallow and primary forest in central Amazonia, Brazil. **Hydrological Processes**, 1999.

SHACHNOVICH, Y.; BERLINER, P. R.; BAR, P. Rainfall interception and spatial distribution of throughfall in a pine forest planted in an arid zone. **Journal of Hydrology**, v. 349, n. 1–2, p. 168–177, 2008.

SHUTTLEWORTH, W. J. Evaporation Models in the Global Water Budget. In: **Variations in the Global Water Budget**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1983. p. 147–171.

SILES, P. et al. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss in a coffee (*Coffea arabica* L.) monoculture compared to an agroforestry system with *Inga densiflora*. **Journal of Hydrology**, v. 395, n. 1–2, p. 39–48, 2010.

SOUZA, L. C. DE; MARQUES, R. Fluxo de nutrientes em Floresta Ombrófila Densa das terras bauxas no litoral do Paraná. **Floresta**, v. 40, n. 1, p. 125–136, 25 mar. 2010.

SOUZA, V. V. DE et al. Análise da qualidade das águas das precipitações em aberto e efetiva em um fragmento secundário da Mata Atlântica, no município de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v. 31, n. 4, p. 737–743, ago. 2007.

STAELENS, J. et al. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: influence of foliation, rain event characteristics, and meteorology. **Hydrological Processes**, v. 22, n. 1, p. 33–45, 1 jan. 2008.

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

THOMAZ, E. L.; ANTONELI, V. Intercepção de chuva em fragmento secundário de ombrófila mista com faxinal, guarapuava – PR. **Cerne**, v. 21, n. 3, p. 363–369, 2015.

TOBA, T.; OHTA, T. Factors affecting rainfall interception determined by a forest simulator and numerical model. **Hydrological Processes**, v. 22, n. 14, p. 2634–2643, 1 jul. 2008.

TONELLO, K. C. et al. Precipitação efetiva em diferentes formações florestais na floresta nacional de ipanema. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p. 383–390, abr. 2014.

TSIKO, C. T. et al. Measuring forest floor and canopy interception in a savannah ecosystem. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 47–48, p. 122–127, 2012.

VACHAUD, G. et al. Temporal Stability of Spatially Measured Soil Water Probability Density Function1. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, n. 4, p. 822, 1985.

VALENTE, F.; DAVID, J. S.; GASH, J. H. C. Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models. **Journal of Hydrology**, v. 190, n. 1–2, p. 141–162, mar. 1997.

VAN STAN, J. T.; JARVIS, M. T.; LEVIA, D. F. An automated instrument for the measurement of bark microrelief. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 59, n. 2, p. 491–493, 2010.

VAN STAN, J. T.; LEVIA, D. F. Inter- and intraspecific variation of stemflow production from *Fagus grandifolia* Ehrh. (American beech) and *Liriodendron tulipifera* L. (yellow poplar) in relation to bark microrelief in the eastern United States. **Ecohydrology**, v. 3, n. 1, p. n/a-n/a, mar. 2009.

VIEIRA, C.; PALMIER, L. Medida e Modelagem da Intercepção da Chuva em uma Área Florestada na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 3, p. 101–112, 2006.

WALKER, J.; TUNSTALL, B. R. **Field estimation of foliage cover in Australian woody vegetation**. [s.l: s.n.].

XIAO, Q. et al. A new approach to modeling tree rainfall interception. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 105, n. D23, p. 29173–29188, 16 dez. 2000.

XIAO, Q.; MCPHERSON, G. G. Rainfall interception of three trees in Oakland, California. **Urban Ecosystems**, v. 14, n. 4, p. 755–769, 2011.

ZIMMERMANN, A. et al. Spatio-temporal patterns of throughfall and solute deposition in an open tropical rain forest. **Journal of Hydrology**, v. 360, n. 1–4, p. 87–102, out. 2008.



APÊNDICE A. CARACTERÍSTICAS DOS EVENTOS MONITORADOS NAS PARCELAS PERI 1 E PERI 2

As características dos eventos em cada período de monitoramento são apresentadas na Tabela A-1. As características foram calculadas a partir dos dados do pluviógrafo com registro automático de dados a cada 5 min.

Tabela A-1 Características dos períodos de chuva com as respectivas durações.

								(continua)
<b>n</b>	<b>Início</b>	<b>Fim</b>	<b>dias</b>	<b>n</b>	<b>Início</b>	<b>Fim</b>	<b>dias</b>	
<b>1</b>	22-10-15 15:00	29-10-15 10:30	7	<b>26</b>	30-05-16 11:00	03-06-16 14:20	4	
<b>2</b>	29-10-15 10:30	06-11-15 9:00	8	<b>27</b>	03-06-16 14:20	07-06-16 10:00	4	
<b>3</b>	06-11-15 9:00	19-11-15 14:50	13	<b>28</b>	07-06-16 10:00	17-06-16 10:10	10	
<b>4</b>	19-11-15 14:50	16-12-15 10:15	27	<b>29</b>	17-06-16 10:10	23-06-16 11:30	6	
<b>5</b>	16-12-15 10:15	05-01-16 8:00	20	<b>30</b>	23-06-16 11:30	01-07-16 10:00	8	
<b>6</b>	05-01-16 8:00	18-01-16 10:40	13	<b>31</b>	01-07-16 10:00	14-07-16 15:00	13	
<b>7</b>	18-01-16 10:40	19-02-16 9:00	32	<b>32</b>	14-07-16 15:00	15-07-16 10:10	1	
<b>8</b>	19-02-16 9:00	23-02-16 11:00	4	<b>33</b>	15-07-16 10:10	18-07-16 10:00	3	
<b>9</b>	23-02-16 11:00	01-03-16 9:00	7	<b>34</b>	18-07-16 10:00	28-07-16 9:30	10	
<b>10</b>	01-03-16 9:00	07-03-16 10:30	6	<b>35</b>	28-07-16 9:30	03-08-16 9:50	6	
<b>11</b>	07-03-16 10:30	11-03-16 11:10	4	<b>36</b>	03-08-16 9:50	08-08-16 15:55	5	
<b>12</b>	11-03-16 11:10	23-03-16 10:20	12	<b>37</b>	08-08-16 15:55	10-08-16 11:30	2	
<b>13</b>	23-03-16 10:20	31-03-16 11:50	8	<b>38</b>	10-08-16 11:30	16-08-16 11:00	6	
<b>14</b>	31-03-16 11:50	07-04-16 10:00	7	<b>39</b>	16-08-16 11:00	18-08-16 13:20	2	
<b>15</b>	07-04-16 10:00	11-04-16 10:00	4	<b>40</b>	18-08-16 13:20	22-08-16 11:30	4	
<b>16</b>	11-04-16 10:00	13-04-16 10:00	2	<b>41</b>	22-08-16 11:30	31-08-16 13:10	9	
<b>17</b>	13-04-16 10:00	14-04-16 14:00	1	<b>42</b>	31-08-16 13:10	05-09-16 15:00	5	
<b>18</b>	14-04-16 14:00	22-04-16 12:05	8	<b>43</b>	05-09-16 15:00	06-09-16 10:30	1	
<b>19</b>	22-04-16 12:05	25-04-16 15:30	3	<b>44</b>	06-09-16 10:30	19-09-16 9:00	13	
<b>20</b>	25-04-16 15:30	27-04-16 14:20	2	<b>45</b>	19-09-16 9:00	05-10-16 6:30	16	
<b>21</b>	27-04-16 14:20	07-05-16 11:00	10	<b>46</b>	05-10-16 6:30	07-10-16 8:00	2	
<b>22</b>	07-05-16 11:00	16-05-16 11:00	9	<b>47</b>	07-10-16 8:00	14-10-16 10:50	7	
<b>23</b>	16-05-16 11:00	22-05-16 15:30	6	<b>48</b>	14-10-16 10:50	17-10-16 15:00	3	
<b>24</b>	22-05-16 15:30	24-05-16 10:30	2	<b>49</b>	17-10-16 15:00	18-10-16 8:00	1	
<b>25</b>	24-05-16 10:30	30-05-16 11:00	6	<b>50</b>	18-10-16 8:00	20-10-16 8:00	2	

<b>n</b>	<b>Inicio</b>	<b>Fim</b>	<b>dias</b>	<b>n</b>	<b>Inicio</b>	<b>Fim</b>	<b>dias</b>
<b>51</b>	20-10-16 8:00	27-10-16 10:30	7	<b>83</b>	04-10-17 9:30	10-10-17 10:55	6
<b>52</b>	27-10-16 10:30	10-11-16 13:30	14	<b>84</b>	10-10-17 10:55	13-10-17 10:20	3
<b>53</b>	10-11-16 13:30	17-11-16 10:50	7	<b>85</b>	13-10-17 10:20	20-10-17 9:00	7
<b>54</b>	17-11-16 10:50	18-11-16 13:05	1	<b>86</b>	20-10-17 9:00	23-10-17 10:00	3
<b>55</b>	18-11-16 13:05	06-12-16 11:30	18	<b>87</b>	23-10-17 10:00	26-10-17 15:00	3
<b>56</b>	06-12-16 11:30	20-12-16 9:10	14	<b>88</b>	26-10-17 15:00	07-11-17 9:00	12
<b>57</b>	20-12-16 9:10	16-01-17 12:12	27	<b>89</b>	07-11-17 9:00	09-11-17 9:00	2
<b>58</b>	16-01-17 12:12	19-01-17 14:40	3	<b>90</b>	09-11-17 9:00	13-11-17 9:00	4
<b>59</b>	19-01-17 14:40	26-01-17 8:00	7	<b>91</b>	13-11-17 9:00	20-11-17 9:00	7
<b>60</b>	26-01-17 8:00	27-01-17 9:50	1	<b>92</b>	20-11-17 9:00	05-12-17 9:00	15
<b>61</b>	27-01-17 9:50	03-02-17 9:00	7	<b>93</b>	05-12-17 9:00	20-12-17 9:40	15
<b>62</b>	03-02-17 9:00	09-02-17 15:15	6	<b>94</b>	20-12-17 9:40	12-01-18 0:00	23
<b>63</b>	09-02-17 15:15	16-02-17 23:30	7	<b>95</b>	12-01-18 0:00	23-01-18 9:45	11
<b>64</b>	16-02-17 23:30	06-03-17 8:00	17	<b>96</b>	23-01-18 9:45	06-02-18 9:50	14
<b>65</b>	06-03-17 8:00	08-03-17 8:00	2	<b>97</b>	06-02-18 9:50	20-02-18 12:00	14
<b>66</b>	08-03-17 8:00	10-03-17 8:00	2	<b>98</b>	20-02-18 12:00	27-02-18 12:00	7
<b>67</b>	10-03-17 8:00	11-04-17 11:13	32	<b>99</b>	27-02-18 12:00	01-03-18 12:30	2
<b>68</b>	11-04-17 11:13	19-04-17 9:00	8	<b>100</b>	01-03-18 12:30	06-03-18 13:00	5
<b>69</b>	19-04-17 9:00	24-04-17 9:00	5	<b>101</b>	06-03-18 13:00	13-03-18 9:30	7
<b>70</b>	24-04-17 9:00	01-05-17 9:00	7	<b>102</b>	13-03-18 9:30	22-03-18 8:30	9
<b>71</b>	01-05-17 9:00	17-05-17 8:00	16	<b>103</b>	22-03-18 8:30	27-03-18 8:30	5
<b>72</b>	17-05-17 8:00	23-05-17 8:00	6	<b>104</b>	27-03-18 8:30	03-04-18 12:00	7
<b>73</b>	23-05-17 8:00	29-05-17 12:00	6	<b>105</b>	03-04-18 12:00	19-04-18 12:00	16
<b>74</b>	29-05-17 12:00	08-06-17 8:00	10	<b>106</b>	19-04-18 12:00	27-04-18 12:00	8
<b>75</b>	08-06-17 8:00	30-06-17 8:00	22	<b>107</b>	27-04-18 12:00	04-05-18 12:00	7
<b>76</b>	30-06-17 8:00	07-07-17 8:00	7	<b>108</b>	04-05-18 12:00	08-05-18 12:00	4
<b>77</b>	07-07-17 8:00	20-07-17 8:00	13	<b>109</b>	08-05-18 12:00	10-05-18 10:30	2
<b>78</b>	20-07-17 8:00	08-08-17 9:30	19	<b>110</b>	10-05-18 10:30	22-05-18 10:30	12
<b>79</b>	08-08-17 9:30	15-08-17 9:00	7	<b>111</b>	22-05-18 10:30	04-06-18 10:30	13
<b>80</b>	15-08-17 9:00	22-08-17 9:00	7	<b>112</b>	04-06-18 10:30	06-06-18 15:30	2
<b>81</b>	22-08-17 9:00	28-09-17 10:46	37	<b>113</b>	06-06-18 15:30	19-06-18 11:30	13
<b>82</b>	28-09-17 10:46	04-10-17 9:30	6	<b>114</b>	19-06-18 11:30	28-06-18 11:30	9

<b>n</b>	<b>Inicio</b>	<b>Fim</b>	<b>dias</b>	<b>n</b>	<b>Inicio</b>	<b>Fim</b>	<b>dias</b>
<b>115</b>	28-06-18 11:30	05-07-18 10:20	7	<b>127</b>	04-10-18 8:30	09-10-18 10:30	5
<b>116</b>	05-07-18 10:20	17-07-18 11:00	12	<b>128</b>	09-10-18 10:30	11-10-18 9:00	2
<b>117</b>	17-07-18 11:00	27-07-18 11:00	10	<b>129</b>	11-10-18 9:00	18-10-18 11:20	7
<b>118</b>	27-07-18 11:00	31-07-18 11:00	4	<b>130</b>	18-10-18 11:20	29-10-18 11:30	11
<b>119</b>	31-07-18 11:00	08-08-18 11:00	8	<b>131</b>	29-10-18 11:30	06-11-18 9:00	8
<b>120</b>	08-08-18 11:00	16-08-18 11:00	8	<b>132</b>	06-11-18 9:00	08-11-18 9:45	2
<b>121</b>	16-08-18 11:00	23-08-18 10:30	7	<b>133</b>	08-11-18 9:45	13-11-18 9:45	5
<b>122</b>	23-08-18 10:30	28-08-18 10:30	5	<b>134</b>	13-11-18 9:45	23-11-18 13:00	10
<b>123</b>	28-08-18 10:30	04-09-18 10:30	7	<b>135</b>	23-11-18 13:00	30-11-18 8:40	7
<b>124</b>	04-09-18 10:30	18-09-18 10:30	14	<b>136</b>	30-11-18 8:40	04-12-18 9:10	4
<b>125</b>	18-09-18 10:30	25-09-18 8:30	7	<b>137</b>	04-12-18 9:10	17-12-18 9:00	13
<b>126</b>	25-09-18 8:30	04-10-18 8:30	9	<b>138</b>	17-12-18 9:00	21-12-18 8:50	4

Tabela A-2 Monitoramento de chuva externa (*Pg*), chuva interna (*Tf*) e escoamento pelo tronco (*Sf*) nas parcelas da Lagoa do Peri.

(continua)

n°	Parcela 1						Parcela 2					
	<i>Pg</i> Pluviógrafo	<i>Pg</i> Pluviômetro	<i>Tf</i> Parcela		<i>Sf</i> Parcela		<i>Pg</i> Pluviógrafo	<i>Pg</i> Pluviômetro	<i>Tf</i> Parcela		<i>Sf</i> Parcela	
	mm	mm	mm	%	mm	%	mm	mm	mm	%	mm	%
1	-	65.6	34.1	52	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	92.6	46.9	51	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	35.3	18.6	53	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	100.7	54.3	54	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	136.4	72.3	53	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	113.3	63.3	56	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	125.9	77.0	61	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	57.5	37.9	66	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	28.6	18.1	63	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	96.0	66.7	69	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	49.4	32.9	67	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	17.2	8.8	51	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	82.0	50.5	62	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	8.0	8.9	111	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	27.4	19.7	72	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	56.8	38.0	67	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	10.2	6.8	66	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	26.4	16.6	63	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	16.9	13.2	78	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	27.9	13.1	47	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	9.1	6.1	67	0.0	1	-	-	-	-	-	-
22	-	19.7	12.1	61	0.2	1	-	-	-	-	-	-
23	-	23.1	18.4	80	0.3	1	-	-	-	-	-	-
24	-	0.7	0.3	37	0.0	0	-	-	-	-	-	-
25	-	18.3	11.3	62	0.8	4	-	-	-	-	-	-
26	-	3.7	2.0	56	0.2	5	-	-	-	-	-	-
27	-	0.2	0.0	10	0.0	0	-	-	-	-	-	-

n°	Parcela 1						Parcela 2					
	<i>Pg</i> Pluviógrafo	<i>Pg</i> Pluviômetro	<i>Tf</i> Parcela		<i>Sf</i> Parcela		<i>Pg</i> Pluviógrafo	<i>Pg</i> Pluviômetro	<i>Tf</i> Parcela		<i>Sf</i> Parcela	
	mm	mm	mm	%	mm	%	mm	mm	mm	%	mm	%
28	-	13.7	11.0	80	0.8	6	-	-	-	-	-	-
29	-	22.6	14.8	65	1.2	5	-	-	-	-	-	-
30	-	0.2	0.0	0	0.0	0	-	-	-	-	-	-
31	-	58.7	50.6	86	1.3	2	-	-	-	-	-	-
32	-	53.4	42.3	79	1.8	3	-	-	-	-	-	-
33	-	45.9	37.9	82	1.2	3	-	-	-	-	-	-
34	-	2.8	2.2	80	0.1	3	-	-	-	-	-	-
35	-	1.8	0.6	35	0.0	0	-	-	-	-	-	-
36	-	7.1	5.2	73	0.2	3	-	-	-	-	-	-
37	-	3.4	3.0	87	0.2	5	-	-	-	-	-	-
38	-	4.8	3.4	71	0.4	9	-	-	-	-	-	-
39	-	3.7	2.8	75	0.1	3	-	-	-	-	-	-
40	-	61.9	58.6	95	1.6	3	-	-	-	-	-	-
41	-	3.2	1.4	44	0.0	0	-	-	-	-	-	-
42	-	98.7	83.3	84	2.1	2	-	-	-	-	-	-
43	-	19.9	13.1	66	1.1	5	-	-	-	-	-	-
44	-	5.5	4.9	90	0.3	6	-	-	-	-	-	-
45	17.8	16.7	11.8	66	3.7	21	-	-	-	-	-	-
46	*10.0	14.2	10.8	76	2.9	29	-	-	-	-	-	-
47	19.4	20.4	16.8	87	3.7	19	-	-	-	-	-	-
48	14.5	14.2	9.8	68	2.7	19	-	-	-	-	-	-
49	9.1	9.1	7.3	80	1.9	21	-	-	-	-	-	-
50	13.3	14.4	12.1	91	2.9	21	-	-	-	-	-	-
51	41.0	42.1	46.5	110	0.9	2	-	-	-	-	-	-
52	9.4	10.3	6.5	70	1.0	11	-	-	-	-	-	-
53	11.9	12.8	10.7	89	1.0	8	-	-	-	-	-	-
54	16.7	17.1	18.3	110	2.3	14	-	-	-	-	-	-
55	157.4	162.2	87.8	56	0.9	1	-	-	-	-	-	-
56	*185.1	55.1	35.3	64	0.4	0	-	-	-	-	-	-

n°	Parcela 1						Parcela 2					
	<i>Pg</i> Pluviógrafo	<i>Pg</i> Pluviômetro	<i>Tf</i> Parcela		<i>Sf</i> Parcela		<i>Pg</i> Pluviógrafo	<i>Pg</i> Pluviômetro	<i>Tf</i> Parcela		<i>Sf</i> Parcela	
	mm	mm	mm	%	mm	%	mm	mm	mm	%	mm	%
57	133.6	127.6	96.5	72	6.1	5	-	-	-	-	-	-
58	6.5	5.8	4.2	65	0.1	2	-	-	-	-	-	-
59	6.4	5.9	3.0	47	0.1	2	-	-	-	-	-	-
60	19.9	18.5	13.0	65	3.2	16	-	-	-	-	-	-
61	120.3	109.0	97.1	81	7.6	6	-	-	-	-	-	-
62	2.4	2.5	1.2	50	0.0	0	-	-	-	-	-	-
63	62.9	54.1	53.2	85	5.7	9	-	-	-	-	-	-
64	33.3	31.6	19.0	57	4.1	12	-	-	-	-	-	-
65	20.3	19.3	12.2	60	2.7	13	-	-	-	-	-	-
66	14.4	12.1	5.2	36	1.5	10	-	-	-	-	-	-
67	*7.21	189.4	115.5	61	7.0	98	-	-	-	-	-	-
68	-	46.6	28.4	61	2.2	14	*15.8	61.0	9.0	57.0	-	-
69	-	2.8	1.2	45	0.0	1	2.7	3.2	1.6	58.7	-	-
70	-	*4.1	10.4	34	1.6	5	30.6	18.6	14.1	46.1	-	-
71	-	18.5	10.8	58	0.7	27	*2.7	15.4	10.5	387.0	-	-
72	-	99.9	59.4	49	2.0	2	120.3	*3.0	2.3	1.9	-	-
73	-	74.1	56.6	76	1.6	2	-	136.2	107.0	78.6	-	-
74	-	160.5	97.3	54	7.3	4	180.2	305.6	197.5	64	-	-
75	-	8.7	4.7	65	0.1	1	7.2	-	3.7	50.7	-	-
76	-	6.8	2.6	39	0.0	0	-	-	3.5	50.8	-	-
77	-	3.0	0.8	27	0.0	0	8.9	-	0.5	5.6	-	-
78	-	53.4	34.5	72	4.6	9	48.2	-	43.1	89.4	-	-
79	-	*1.4	19.9	-	2.6	-	33.8	-	25.4	75.1	-	-
80	-	21.4	9.6	55	1.1	6	17.6	-	13.8	78.5	-	-
81	-	7.8	4.4	33	0.6	4	13.5	-	8.9	65.9	-	-
82	-	112.2	66.7	60	5.7	6	95.5	-	82.7	86.6	-	-
83	-	37.8	31.3	83	4.8	18	26.6	-	29.3	110.3	-	-
84	-	4.4	3.6	61	0.0	0	5.9	-	3.9	65.9	-	-
85	-	10.2	6.1	60	1.6	16	-	-	7.1	69.4	-	-

n°	Parcela 1						Parcela 2					
	<i>Pg</i> Pluviógrafo	<i>Pg</i> Pluviômetro	<i>Tf</i> Parcela		<i>Sf</i> Parcela		<i>Pg</i> Pluviógrafo	<i>Pg</i> Pluviômetro	<i>Tf</i> Parcela		<i>Sf</i> Parcela	
	mm	mm	mm	%	mm	%	mm	mm	mm	%	mm	%
86	-	*0.4	1.8	36	0.6	13	5.0	-	3.9	79.3	-	-
87	-	23.2	11.2	55	5.0	25	20.3	-	17.3	85.4	-	-
88	-	18.8	9.1	51	2.2	12	18.0	-	14.7	81.4	0.1	0.5
89	-	6.2	1.9	36	0.3	6	5.4	-	3.9	71.7	0.0	0.6
90	-	20.2	10.2	284	3.4	95	*3.6	-	13.6	377.6	0.4	12.2
91	-	65.2	39.7	89	4.7	11	44.8	-	45.2	101.0	1.3	3.0
92	-	33.8	13.4	50	3.0	11	26.6	-	28.0	105.5	0.6	2.4
93	-	38.2	16.6	51	3.5	11	32.9	-	27.5	83.7	0.5	1.5
94	-	524.6	0.0	0	0.0	0	-	-	-	-	-	-
95	-	254.8	141.7	80	7.5	4	176.8	-	181.8	102.8	0.1	0.1
96	-	50.8	23.2	46	4.4	9	-	-	28.8	56.6	0.7	1.4
97	-	61.4	56.1	91	5.5	9	-	-	62.5	101.8	0.9	1.4
98	-	16.2	4.3	27	0.2	1	-	-	7.5	46.2	0.1	0.5
99	7.3	8.4	4.4	61	0.5	7	7.7	-	6.1	79.6	0.1	0.8
100	36.0	43.4	26.7	74	4.6	13	39.2	-	33.5	85.6	0.7	1.8
101	4.6	3.3	2.3	50	0.0	0	4.6	5.2	3.1	67.1	0.0	0.4
102	10.8	11.0	6.0	56	0.7	7	9.9	12.0	7.0	70.9	0.1	0.6
103	33.8	31.1	16.4	49	3.8	11	35.1	40.0	25.5	72.6	0.4	1.0
104	78.8	69.4	47.9	61	5.5	7	79.3	88.0	76.5	96.5	0.3	0.4
105	69.8	68.0	52.5	75	5.2	8	53.6	83.8	46.2	86.2	0.5	1.0
106	1.6	1.8	1.0	64	0.0	1	1.6	1.8	1.4	87.7	0.0	0.5
107	19.55	*1.9	4.8	25	0.7	3	-	11.0	6.5	59.3	0.1	0.7
108	15.32	12.8	9.9	64	1.3	9	-	15.0	10.9	72.8	0.1	0.8
109	1.6	1.6	0.3	19	0.0	0	1.5	1.6	0.9	58.9	0.0	0.2
110	48.7	44.6	29.6	61	5.0	10	44.1	50.4	36.3	82.2	0.7	1.5
111	3.3	4.2	2.0	60	0.1	4	3.7	4.2	3.1	84.1	0.0	0.4
112	18.9	12.3	11.8	63	3.6	19	20.3	23.0	16.9	83.1	0.3	1.6
113	60.8	55.4	47.3	78	5.3	9	59.5	64.2	53.2	89.4	1.0	1.7
114	9.7	8.7	7.2	75	0.6	6	9.5	11.4	8.2	85.4	0.1	0.7

n°	Parcela 1						Parcela 2					
	<i>Pg</i> Pluviógrafo	<i>Pg</i> Pluviômetro	<i>Tf</i> Parcela		<i>Sf</i> Parcela		<i>Pg</i> Pluviógrafo	<i>Pg</i> Pluviômetro	<i>Tf</i> Parcela		<i>Sf</i> Parcela	
	mm	mm	mm	%	mm	%	mm	mm	mm	%	mm	%
115	35.6	30.4	22.7	64	3.8	11	33.8	39.8	31.3	92.6	0.5	1.4
116	17.1	15.8	13.7	80	1.6	10	16.7	18.4	14.1	84.8	0.2	1.2
117	98.2	89.5	63.4	65	6.2	6	99.1	111.4	84.2	84.9	1.6	1.6
118	1.5	1.4	1.1	71	0.0	1	1.6	1.4	1.0	59.8	0.0	0.2
119	15.9	13.9	8.8	55	1.9	12	14.0	17.8	11.2	80.4	0.1	0.8
120	4.0	3.9	2.2	54	0.1	2	3.6	5.6	4.0	110.7	0.0	0.6
121	29.7	24.9	14.3	48	3.4	11	30.4	33.4	26.0	85.5	0.1	0.4
122	11.7	12.8	8.5	73	1.6	13	15.1	17.6	12.1	79.9	0.2	1.1
123	109.9	78.4	64.2	58	6.2	6	94.1	105.6	82.1	87.2	1.1	1.2
124	80.2	64.2	50.8	63	5.4	7	78.4	87.8	61.2	78.0	1.1	1.4
125	0.4	-	0.3	68	0.0	2	0.4	-	0.5	140.6	0.0	1.0
126	34.9	31.4	23.9	68	2.4	7	32.9	37.0	24.8	75.6	0.4	1.1
127	2.3	1.6	0.6	26	0.0	0	2.6	2.4	1.9	74.0	0.0	0.2
128	0.9	0.9	0.5	46	0.0	0	0.8	1.4	0.4	44.4	0.0	0.2
129	8.4	6.9	2.3	27	0.1	1	7.7	8.2	4.1	53.4	0.0	0.2
130	83.3	64.5	42.4	51	5.0	6	67.6	78.2	57.8	85.5	0.4	0.7
131	45.0	43.9	36.5	81	4.3	10	43.7	48.6	34.7	79.5	0.3	0.7
132	0.4	0.2	0.5	102	0.0	2	0.2	-	0.4	160.0	0.0	1.7
133	21.6	18.6	11.4	53	1.3	6	18.5	*2.4	15.0	81.1	0.2	1.2
134	13.0	13.0	12.2	93	0.8	6	9.0	*3.4	10.1	112.1	0.1	1.2
135	27.7	26.0	17.9	65	0.8	3	26.1	18.6	18.0	69.0	0.1	0.5
136	27.0	27.2	19.2	71	1.2	5	25.2	28.6	23.3	92.4	0.3	1.2
137	5.4	5.5	3.4	63	0.0	0	*2.2	5.6	2.9	133.9	0.0	0.4
138	17.8	17.2	10.8	61	1.7	10	-	21.2	12.7	60.1	0.2	0.9

-Não foi monitorado

\* excluído



## APÊNDICE B. EQUIPAMENTO DE MONITORAMENTO

Foram utilizados 5 equipamentos para coletar o volume medido em campo, sendo 1 balança, 1 balde volumétrico e 3 provetas volumétricas com volumes diferentes. A balança de peso varia de 0 a 50000 gramas, o intervalo de medição é de 10 gramas (Figura B-1e). O balde varia de 1 a 7 litros, variando 1 litro (Figura B-1d). A maior proveta volumétrica varia de 30 a 1000 mL, sendo o intervalo de 10 mL (Figura B-1c). A proveta média varia de 10 a 250 ml, sendo a variação de 2 ml (Figura B-1b) e a menor proveta tem o volume máximo de 10 ml variando a cada 1 ml (Figura B-1a).

Figura B-1 Equipamentos utilizados para medição do volume do processo de interceptação. (a) Proveta de 10 ml; (b) Proveta de 250 ml; (c) Proveta de 1000 ml; (d) Balde volumétrico de 7 litros; (e) Balança eletrônica de 50 kilos

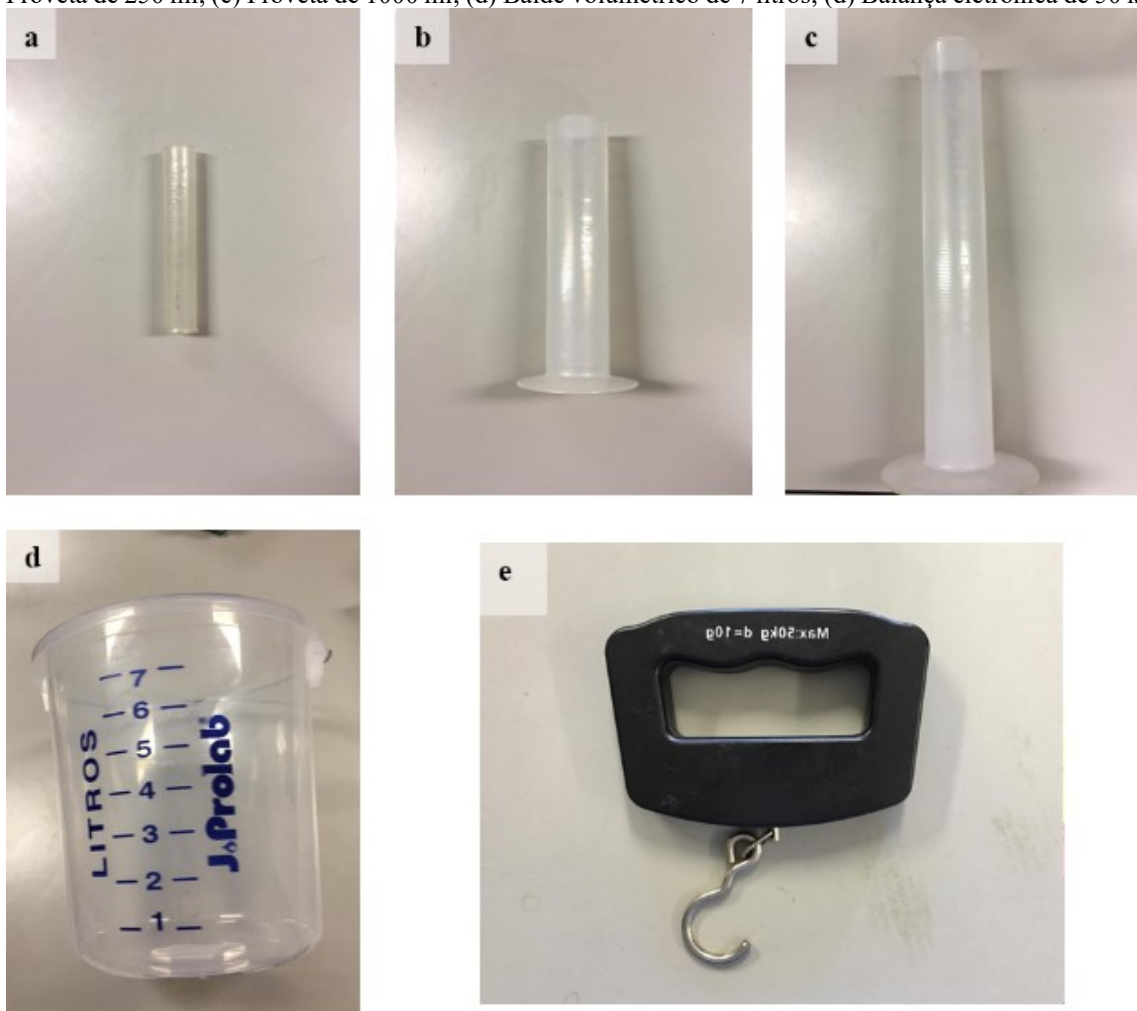
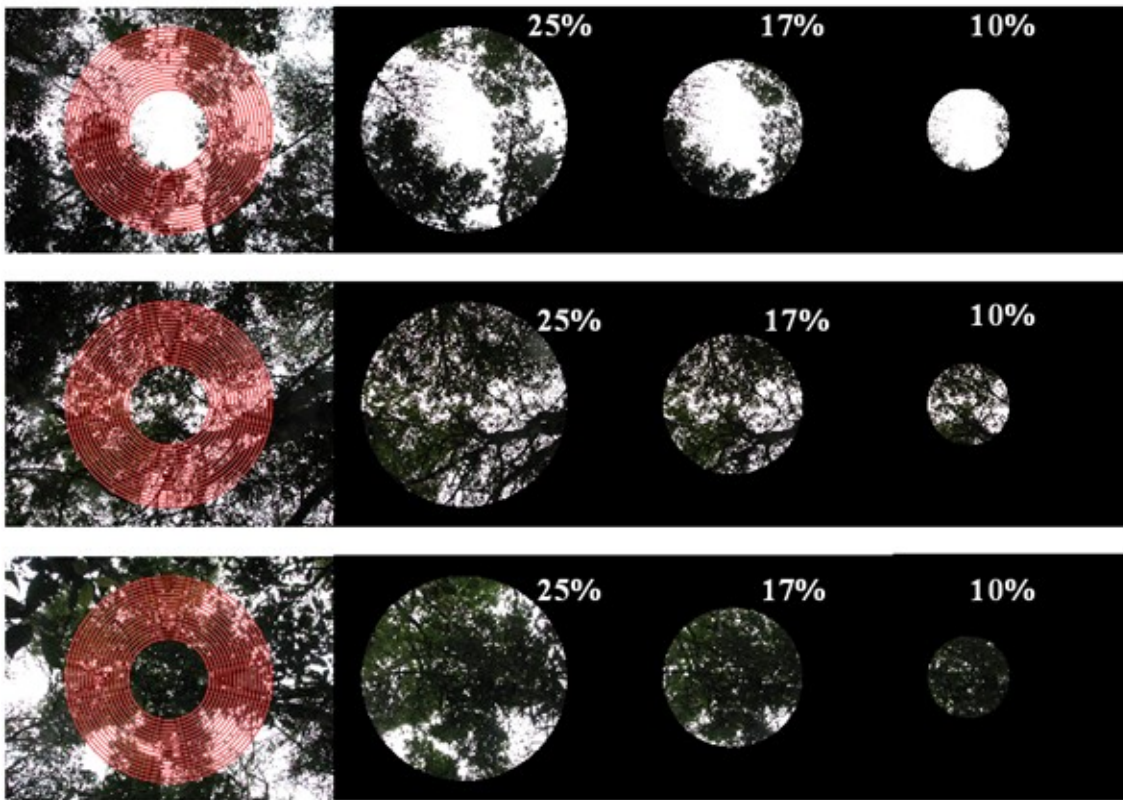


Figura B-2 Fotografia das copas e a representação de cada círculo.



## APÊNDICE C. MONITORAMENTO AUTOMÁTICO DO PROCESSO DE INTERCEPTAÇÃO

Figura C-3 Série temporal da chuva externa: (a) chuva externa da parcela Peri 1; e (b) chuva externa da parcela Peri 2

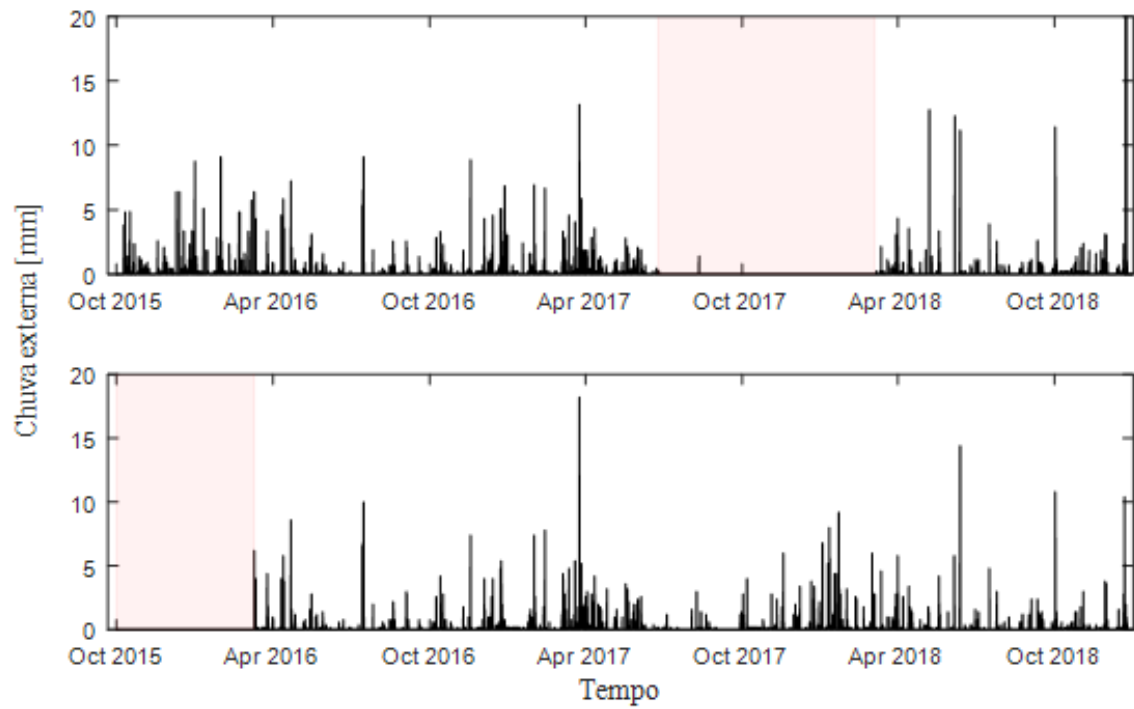


Figura C-4 Série temporal do monitoramento automático da chuva interna: (a) Calha da parcela  $P_{Peri 2}$ ; (b) Calha n° 1 da parcela  $P_{Peri 1}$ ; e (c) Calha n° 2 da parcela  $P_{Peri 1}$ .

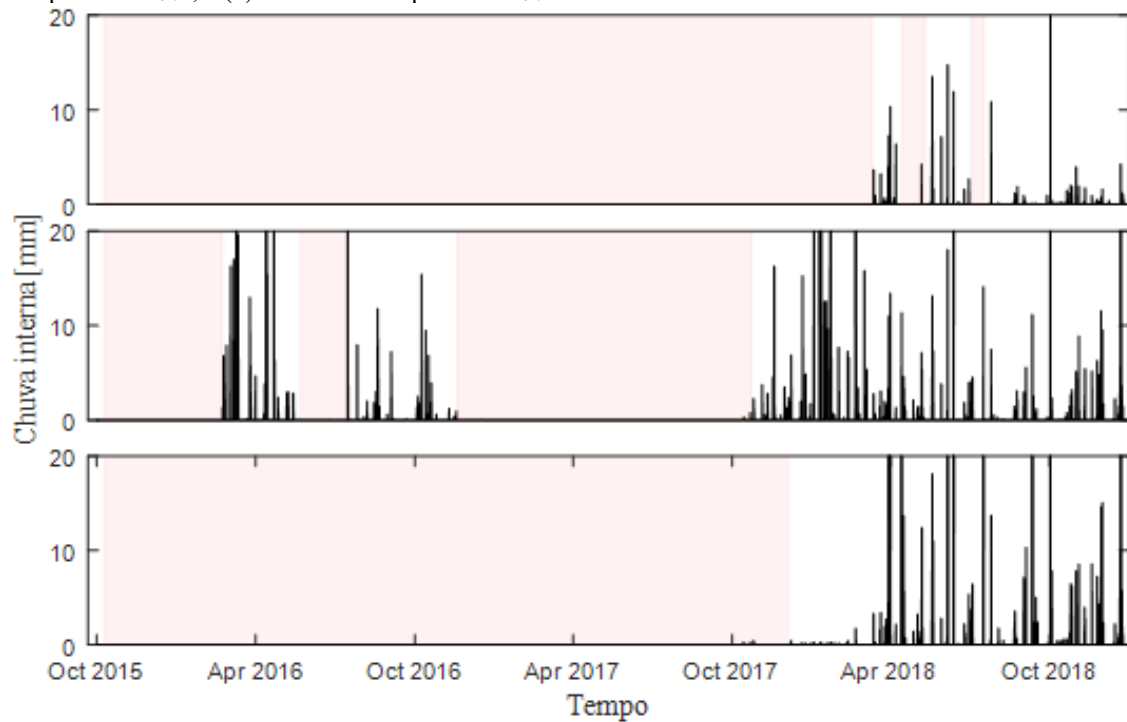
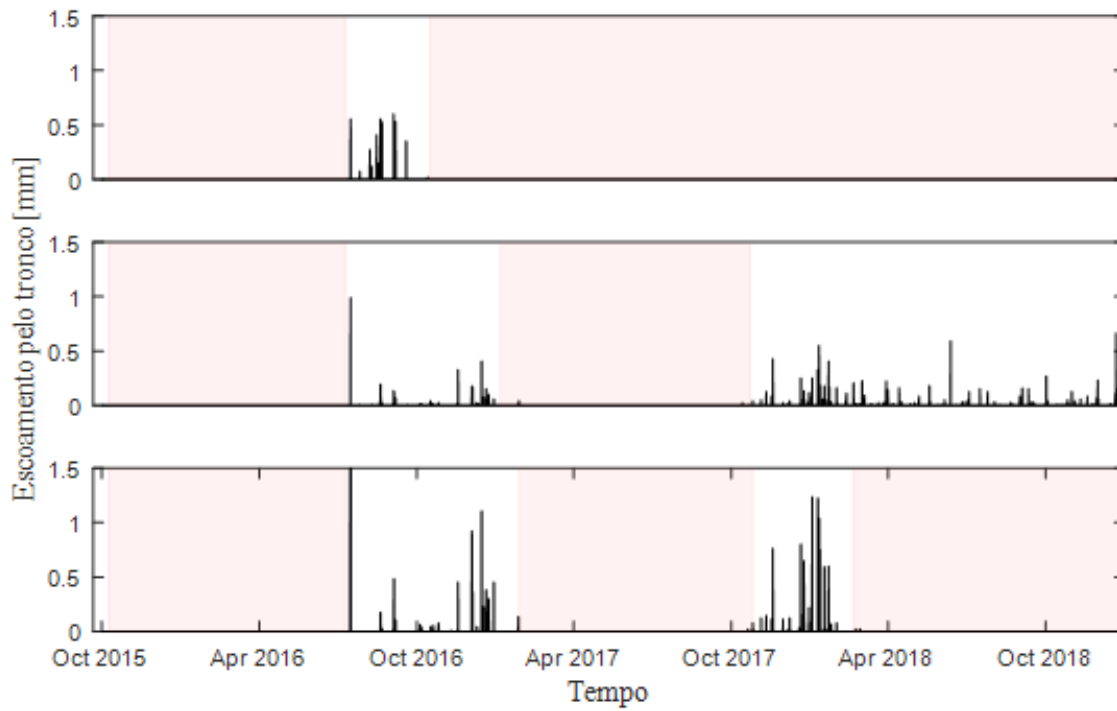


Figura C-5 Série temporal do monitoramento automático do escoamento pelo tronco: (a) árvore 1; (b) árvore 8; e (c) árvore 9



## APÊNDICE D. MONITORAMENTO DO ESCOAMENTO PELO TRONCO

O agrupamento das árvores com base no volume coletado, diâmetro do tronco, área basal, altura da árvore, circunferência da copa, projeção da copa, projeção dos troncos, volume da copa e do tronco, braços primários e secundários, ângulo de interseção com solo, utilizando método *Ward's* revelou 3 grupos distintos de árvores para a parcela Peri 1 (Figura D-6a) e 4 grupos para a parcela Peri 2 (Figura D-6b). Na parcela Peri 1 mostra que os troncos T4, T11, T5, T8, T9, T17, T12, T2, T18, T16, T6, T15 constituíram o primeiro grupo, e os troncos T3, T10 e T7 o grupo dois e os troncos T1, T13 e T14 o último grupo da parcela Peri 1. Na parcela Peri 2 obteve um grupo a mais na distribuição dos grupos de agrupamento.

Figura D-6 Agrupamento dos parâmetros da estrutura da árvore; (a) e (b) estrutura das árvores e; (c) e (d) volume do escoamento pelo tronco.

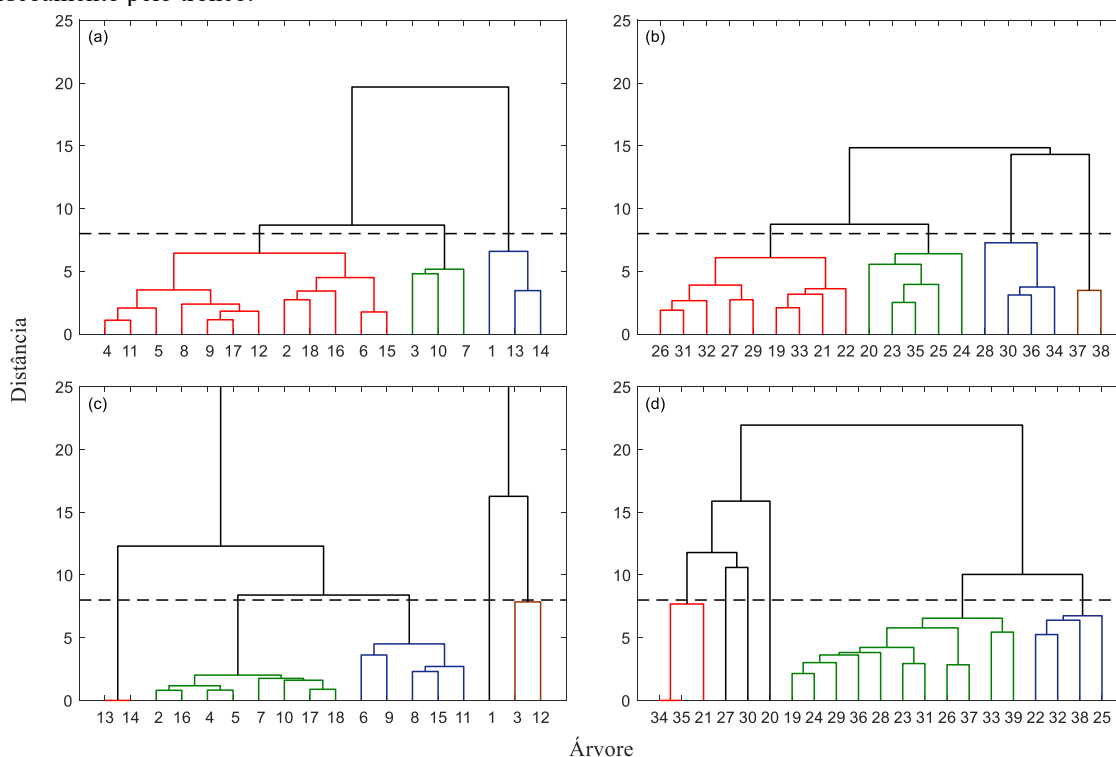


Figura D-7 – Relação entre o volume do escoamento pelo tronco (litros) com a chuva externa para cada árvore

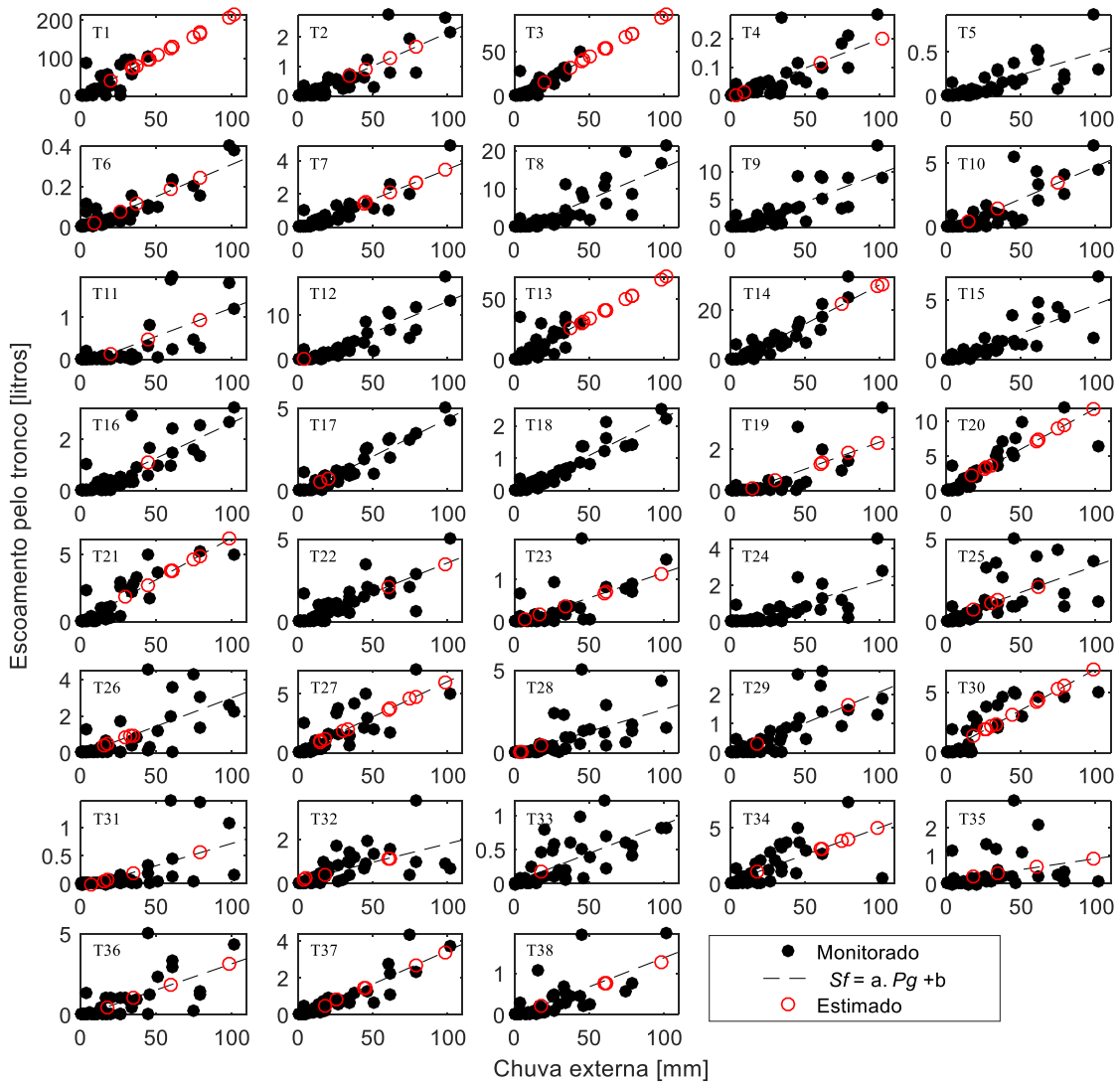


Figura D-8 Relação entre o volume do escoamento pelo tronco pela chuva externa da parcela Per 1, troncos de 1 a 18.

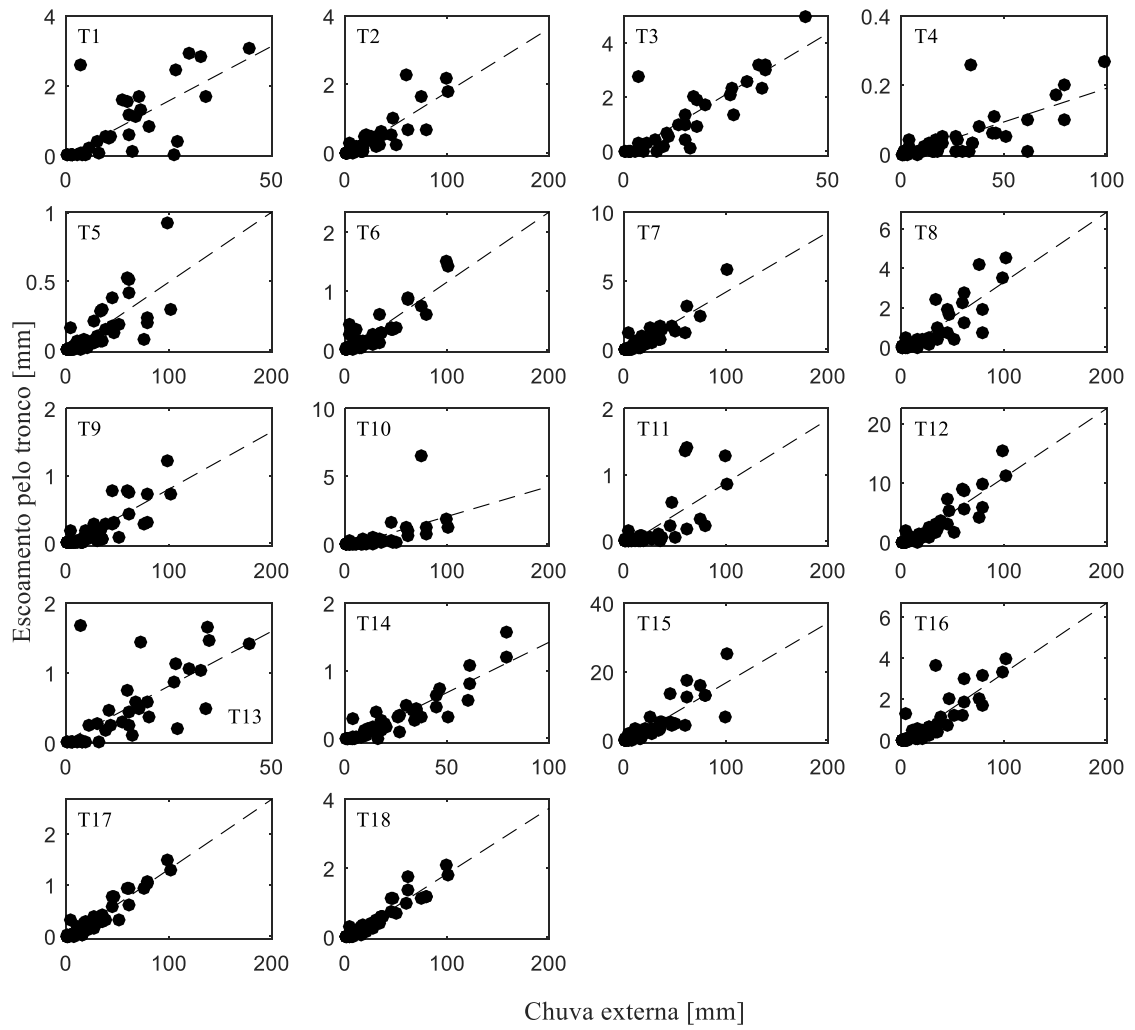
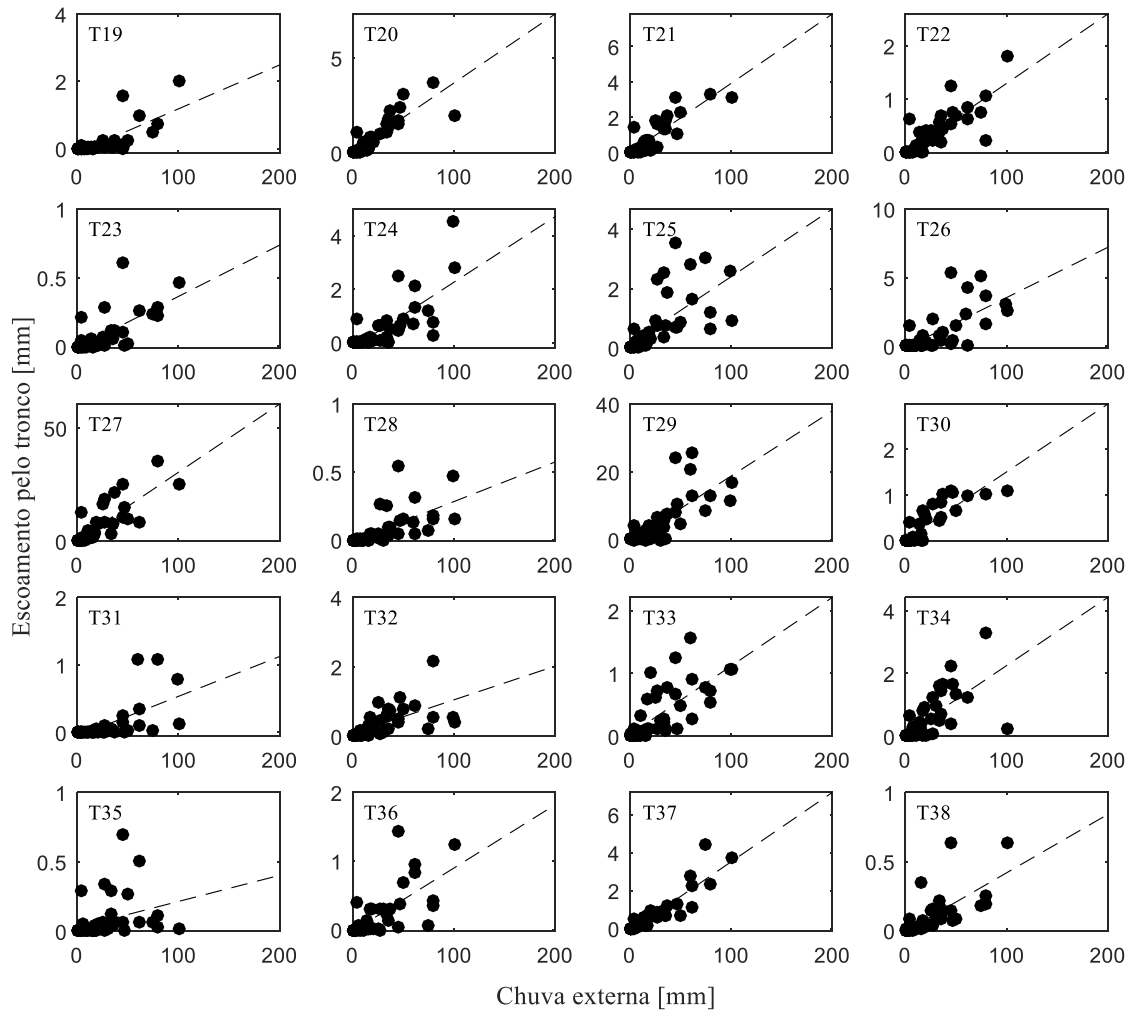


Figura D-9 Relação entre o volume do escoamento pelo tronco pela chuva externa da parcela Per 2 troncos de 19 a 38





## APÊNDICE E. CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DA COPA (SC) E DO TRONCO (ST)

Figura E-10 Relação entre a chuva externa ( $P_g$ ) e chuva interna nos nove pontos distribuídos pela bacia da araponga.

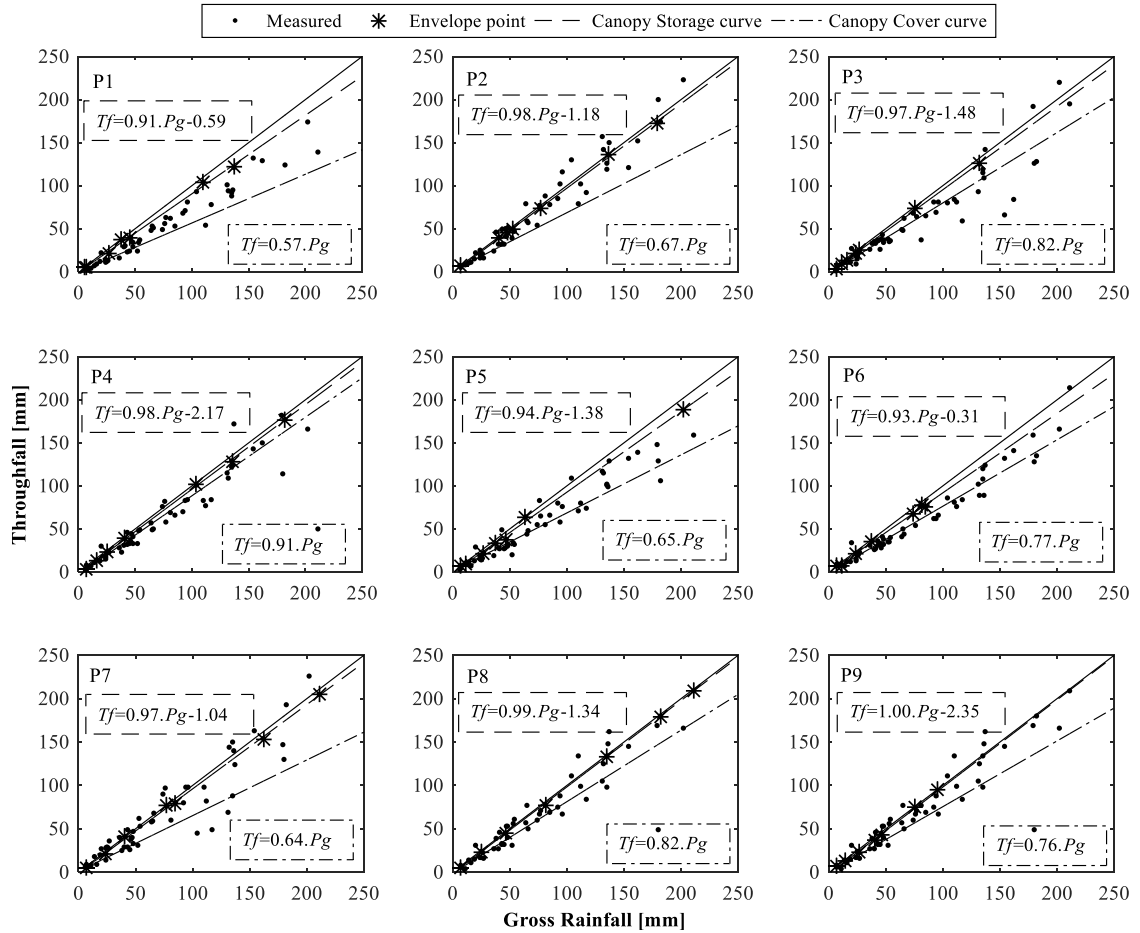


Figura E-11 Relação entre a chuva externa e a chuva interna da bacia Araponga. O gráfico inferior mostra a relação entre a chuva externa e a chuva interna para eventos abaixo do ponto de inflexão ( $P_g < 5\text{mm}$ )

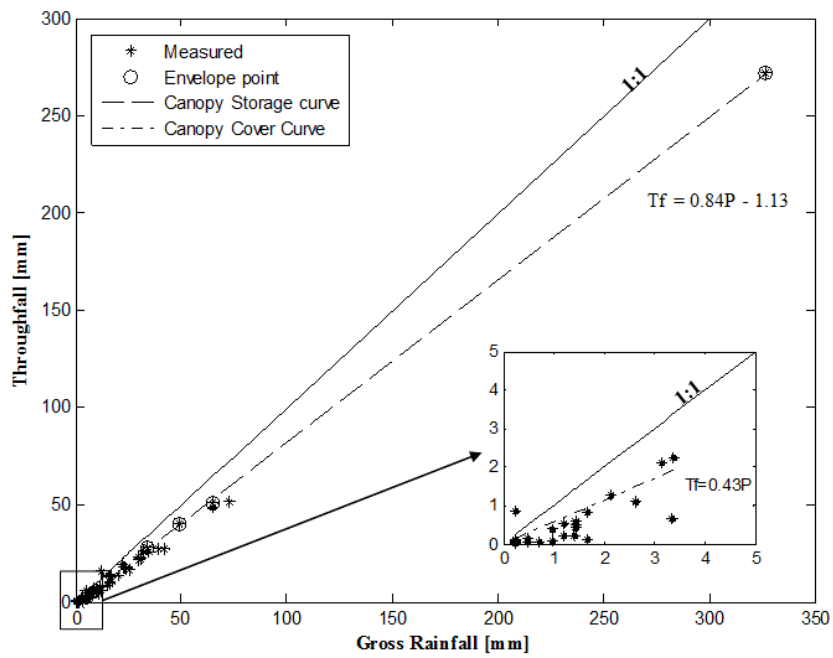


Figura E-12 Relação entre a chuva externa e a chuva interna para o cálculo da capacidade de armazenamento da copa para a primeira metade dos pluviômetros da parcela Peri 1.

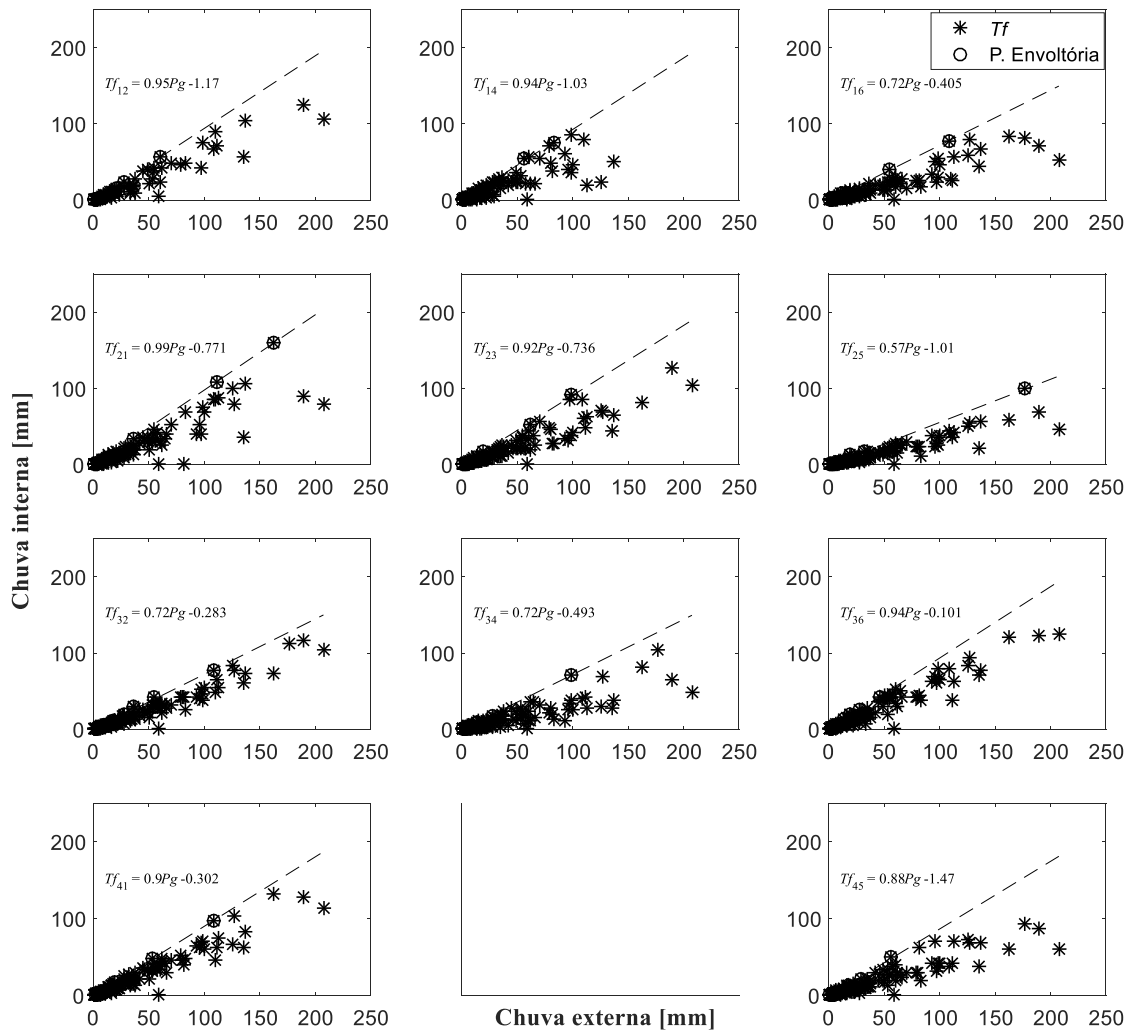
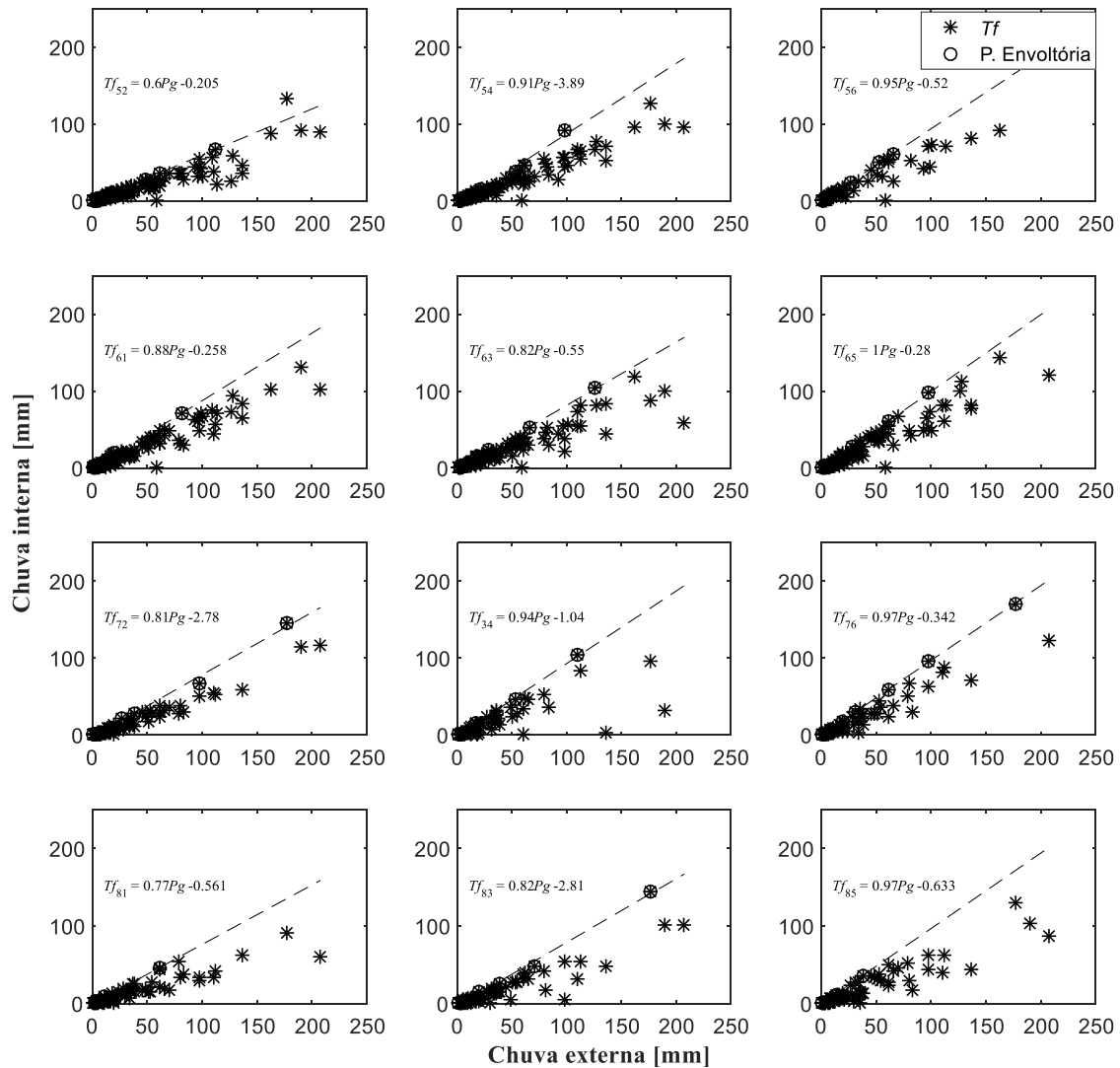


Figura E-13 Relação entre a chuva externa e a chuva interna para o cálculo da capacidade de armazenamento da copa para a primeira metade dos pluviômetros da parcela Peri 1.



## APÊNDICE F. ERRO DE MEDIÇÃO DE CAMPO

Durante o monitoramento deste trabalho, foram frequentes os erros de medição com os equipamentos instalados em campo, que ocasionaram perdas de dados significativas. Pelo fato que o monitoramento é feito em uma floresta densa, rica em fauna e flora, muitos desses erros são inevitáveis, mas algumas delas foram possíveis reduzir a frequência de ocorrência outras infelizmente não foram possíveis e ainda estamos tentando diminuir esses erros.

Alguns pontos da chuva interna superam o volume da chuva externa, isso ocorre devido ao caminho preferencial da água (Figura F-14a), mas como isso faz parte do processo, foi necessário que nesses pontos o armazenamento fosse maior que nos outros pontos alterando as garrafas de 5 litros para 10 litros (Figura F-14b). Outro problema que acontece com os pluviômetros é o entupimento por folhas, galhos e/ou pequenos animais (Figura F-14c) e alguns casos pode ocorrer a perda do volume nesse ponto, conforme mostrado na Figura F-14d.

Figura F-14 Problemas com pluviômetros: (a) caminho preferencial da chuva; (b) pluviômetro com armazenamento de 10 litros; (c) pluviômetro com folhas e (d) pluviômetro entupido.



No escoamento pelo tronco também obtivemos problemas no monitoramento, como o entupimento dos colares (Figura F-15a) por causa folhas, galhos e/ou pequenos animais. Outro problema que acontece é o crescimento das árvores, como a floresta sempre está em desenvolvimento, e algumas árvores monitoradas são jovens, ocorrendo alteração do DAP e

assim quebrando os colares que são produzidos por massa adesiva epóxi. Portanto, a manutenção dos coletores era feita periodicamente. Esse também foi um motivo por escolher fazer o monitoramento com colares, pois percebemos que com o monitoramento utilizando as mangueiras, elas estrangulavam a árvore e ocasionando assim a sua morte, como podemos ver na Figura F-15.

Figura F-15 Problema com escoamento pelo tronco; (a) e (b) entupimento dos colares; (c) e (d) manutenção dos colares de escoamento pelo tronco.



Outro problema que tivemos com o escoamento pelo tronco era que em eventos grande, algumas árvores superaram o volume de armazenamento, e assim, os coletores estavam cheios (a), portanto foram feitos dois dispositivos, o primeiro dispositivo conectamos 2 garrafas de 10 litros em série (b), mas não funcionou, pois somente a primeira garrafa era enchido, e depois de encher esse volume os dados eram perdidos (Figura F-16). Então colocamos as garrafas em paralelo (c), mas mesmo assim em alguns eventos somente uma garrafa ficava cheio ou as duas garrafas e assim perdendo dados do monitoramento. Por último foi instalado um galão de 50 litros e dependendo do evento o galão fica cheio (d).

Figura F-16 Armazenamento do escoamento pelo tronco; (a) 10 litros; (b) 2 garrafas de 10 litros conectados em série; (c) 2 garrafas de 10 conectados em paralelo; e (d) galão de 50 litros.



Além de todos os problemas de monitoramento, também ocorreu um ciclone subtropical no dia 04/12/2016 em Florianópolis derrubando algumas árvores da parcela 2 e destruindo os equipamentos instalados nessa parcela (Figura F-17).

Figura F-17 Árvores caídas por causa do ciclone subtropical e destruindo a parcela de monitoramento.

