

## 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*

Vanessa Sari<sup>1</sup>, Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva<sup>2</sup> e João Batista Dias de Paiva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

sari.vanessa@yahoo.com.br

<sup>2,3</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil

eloizadepaiva@gmail.com, jbdpaiva@gmail.com

Recebido: 25/03/15 - Revisado: 11/05/15 - Aceito: 29/06/15

## RESUMO

A quantificação da precipitação interna ( $P_i$ ) nas florestas naturais e o conhecimento de seus padrões de variabilidade espacial e temporal são fatores fundamentais aos estudos dos processos do solo e; do comportamento hidrológico, ecológico e bioquímico das bacias hidrográficas. Entre os métodos disponíveis para a determinação da  $P_i$  estão os sistemas de monitoramento com ou sem rotação dos coletores. Esse estudo quantificou a  $P_i$  em um fragmento de Mata Atlântica, localizado na região Sul do Brasil, utilizando sistema de coleta fixo (SF) e móvel (SM), objetivando: (1) calcular a  $P_i$  para ambas as metodologias de monitoramento; (2) verificar se existem diferenças significativas entre os valores de  $P_i$  coletados em cada método; e (3) identificar a variabilidade espacial e estabilidade temporal da  $P_i$  e os erros associados aos diferentes sistemas de coleta. Foram utilizados 20 coletores fixos e 20 rotacionáveis em 81 posições possíveis, ambos distribuídos aleatoriamente em uma parcela de 12 x 50 m. No total foram avaliadas 35 coletas de  $P_i$ , sendo a  $P_i$  total monitorada no SM igual a 71,21% de  $P_e$  e no SF igual a 78,60% de  $P_e$ . Não foram encontradas diferenças significativas nos valores coletados pelos dois sistemas, a um nível de significância de 0,05. Análises da persistência temporal da variabilidade espacial da  $P_i$  demonstram que, em geral, os coletores tendem a manter o mesmo padrão de comportamento para diferentes classes de  $P_e$ ; sendo observados valores de  $P_i$  acima ou abaixo da  $P_i$  média da coleta, concentrados em determinados pontos de monitoramento.

**Palavras Chave:** Mata atlântica. Interceptação. Variabilidade espacial. Estabilidade temporal

## ABSTRACT

Quantification of throughfall ( $T_b$ ) in natural forests and knowledge of their spatial and temporal variability patterns are key factors to study soil processes and hydrological, ecological and biochemical watershed behavior. Among the methods available for  $T_b$  determination are monitoring systems with or without the deployment of rotation collectors. This study quantified  $T_b$  in a fragment of Atlantic Forest, located in southern Brazil, using a fixed (SF) and mobile (SM) collection system. The objectives are: 1) to calculate  $T_b$  for both monitoring methodologies; 2) to verify if there are significant differences between the  $T_b$  values collected using each method; and 3) to identify the spatial and temporal stability of  $T_b$  and errors associated with each collection system. The study used 20 fixed collectors and 20 rotatable collectors at 81 possible positions, both randomly distributed at a site with 12m x 50 m. Thirty-five  $T_b$  collections were evaluated. The total  $T_b$  monitored at SM is equal to 71.21% of  $P$  and at SF is equal to 78.60% of  $P$ . No significant differences were found among the values obtained by the two systems (at a 0.05 significance level). Analysis of the temporal persistence of  $T_b$  spatial variability demonstrates that, in general, collectors tend to maintain the same behavior for different classes of  $P$ ,  $T_b$  values above or below the average of  $T_b$  collection being observed concentrated at certain monitoring points.

**Keywords:** Atlantic forest. Interception. Spatial variability. Temporal stability

## INTRODUÇÃO

A interceptação das chuvas influencia o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, afetando a ecologia florestal e os processos hidrológicos subsequentes. Entender como as florestas interferem nessa dinâmica é, pois essencial ao adequado gerenciamento das bacias hidrográficas e ao planejamento das estratégias de conservação dos recursos hídricos; sendo também fundamental aos processos de modelagem local e regional.

Usualmente, a determinação das perdas por interceptação é realizada através da partição da chuva precipitada ou precipitação externa ( $P_e$ ) em precipitação interna ( $P_i$ ), escoamento pelo tronco ( $E_t$ ) e total interceptado ( $I$ ). Esse fracionamento é o resultado das características da precipitação e das condições meteorológicas (BULCOCK; JEWITT, 2012; CROCKFORD; RICHARDSON, 2000; GIGLIO; KOBIYAMA, 2013; LIVESLEY; BAUDINETTE; GLOVER, 2014), da estrutura vegetal (CROCKFORD; RICHARDSON, 2000; GERMER; ELSENBEER; MORAES, 2006; GIGLIO; KOBIYAMA, 2013; KEIM; SKAUGSET; WEILER, 2005; STAELENS et al., 2008) e do período do ano (ARCOVA; CICCIO; ROCHA, 2003; CUARTAS et al., 2007; MOURA et al., 2012; STAELENS et al., 2006); bem como da interação entre esses fatores.

A precipitação interna representa a porção da precipitação que atinge o solo passando diretamente através das copas, ou pingando das folhas das árvores. Sua quantificação é importante para diversos estudos, entre os quais: determinação das perdas por interceptação (DINIZ et al., 2013; MOURA et al., 2012), modelagens hidrológicas e análise de geração do escoamento superficial (CHAFFE et al., 2010; SAVENIJE, 2004), erosão do solo, distribuição da umidade nas florestas (SCHUME; JOST; KATZENSTEINER, 2003) e entrada de solutos e água nos ecossistemas florestais (ZIMMERMANN et al., 2008; ZIMMERMANN; PAPRITZ; ELSENBEER, 2010); contribuindo ainda, para a variabilidade espacial da fertilidade do solo (WULLAERT et al., 2009).

A medida da precipitação interna compõe, portanto, uma fase crítica nos processos de estimativa da interceptação de uma dada vegetação, de modo que um erro significativo nessa estimativa de  $P_i$  resultará em um erro correspondente na determinação das perdas por interceptação, levando a subestimativa ou a superestimativa desses valores calculados (DUNKERLEY, 2010). Mas para, além disso, a correta quantificação da  $P_i$  e o conhecimento de seus padrões de variação espacial e temporal constituem-se em fatores fundamentais à solução de uma ampla gama de problemas ecológicos e hidrológicos (ZIMMERMANN et al., 2008; ZIMMERMANN; WILCKE; ELSENBEER, 2007).

No entanto, a grande variabilidade da vegetação e do clima brasileiro (GIGLIO; KOBIYAMA, 2013) faz com que a  $P_i$  varie largamente, no tempo e no espaço. De fato, as interações entre o clima e a estrutura vegetal podem ocasionar diferenças significativas entre os percentuais de precipitação interna para espécies com características semelhantes (BRAUMAN; FREYBERG; DAILY, 2010). No Bioma Mata Atlântica, por exemplo, a  $P_i$  oscila entre 47,6 e 94% de  $P_e$ , com média de  $79,51 \pm 9,58\%$  de  $P_e$  e mediana de 80% de  $P_e$  ALVES et al., 2007;

(ARCOVA; CICCIO; ROCHA, 2003; DINIZ et al., 2013; MOURA et al., 2009; MOURA et al., 2012; OLIVEIRA JÚNIOR; DIAS, 2005; SCHEER, 2009; THOMAZ, 2005).

Há que se considerar ainda, a variabilidade da  $P_i$  decorrente da presença de drippoints, que direcionam o fluxo de água por caminhos preferenciais, gerando maior contribuição em determinados pontos. Tais pontos podem tornar-se ativos quando um dado evento excede os limites de armazenamento da vegetação, seja pela intensidade, pelo volume ou pela duração da precipitação (DUNKERLEY, 2010). A vegetação do tipo Mata Atlântica apresenta grande incidência de drippoints, em razão do elevado número de espécies vegetais presentes e também, pelo entrelaçamento existente entre os galhos. Essas particularidades contribuem para a acentuada variabilidade espacial da cobertura florestal e para a alta heterogeneidade dos processos de distribuição da precipitação interna nesse tipo de vegetação (MOURA et al., 2012). Adicione-se também, o aumento da  $P_i$  e de sua variação espacial em função de aberturas no dossel da vegetação (CROCKFORD; RICHARDSON, 2000); e as possíveis variações temporais de  $P_i$  ocasionadas por alterações na fenologia da planta ou por mudanças sazonais nas características da precipitação externa (ZIMMERMANN et al., 2008).

Tais particularidades dificultam o desenvolvimento de um monitoramento adequado, que assegure a representatividade da variação espacial e temporal dos valores de  $P_i$  coletados; demandando a utilização de grande número de coletores ou ainda, uma grande área de monitoramento (DEGUCHI et al., 2006). Em razão disso, o número de instrumentos necessários para a adequada caracterização de  $P_i$  pode variar de alguns coletores até 90 ou mais (KIMMINS, 1973), conforme o nível de confiança e erro desejáveis.

Frequentemente, o monitoramento da precipitação interna é realizado através de uma série de coletores, do tipo calhas ou funis, instalados abaixo do dossel da vegetação. Esses instrumentos podem ser mantidos fixos ou serem rotacionados, conforme um critério estabelecido (CZIKOWSKY; FITZ-JARRALD, 2009). Tipicamente, os métodos fixos de coleta apresentam maior coeficiente de variação nos valores de  $P_i$  coletados, em comparação aos métodos de rotação; exigindo, portanto, maior número de coletores para estimativa de  $P_i$  em um mesmo nível de confiança e erro (HOLWERDA; SCATENA; BRUIJNZEEL, 2006).

Dessa forma, a necessidade de grande número de coletores no sistema fixo pode ser minimizada pela aplicação de um sistema de rotação dos instrumentos de monitoramento. Isso ocorre porque a realocação frequente dos coletores aumenta a área de amostragem de  $P_i$  e, em consequência, reduz os erros inerentes à variação espacial da vegetação, melhorando a representatividade do monitoramento. A implantação de tais sistemas de rotação pode ser especialmente vantajosa quando um pequeno número de instrumentos é utilizado (LLOYD; MARQUES, 1988). Entretanto, há que se destacar que a necessidade muito intensa de realocação dos coletores pode tornar impraticável o monitoramento, sobretudo naquelas situações em que o local de estudo é muito remoto.

Assim sendo, entre os maiores desafios do monitoramento da precipitação interna encontra-se a definição do número

de instrumentos a ser utilizado, e a opção pela implantação (ou não implantação) de sistemas de rotação dos coletores. A escolha dessa ou daquela alternativa dependerá do conhecimento das características da vegetação, do número de coletores disponíveis para o monitoramento e do intervalo desejado para a revisita ao local monitorado. A incerteza dos resultados obtidos estará associada ao método de coleta empregado e ao número de instrumentos utilizados (HELVEY; PATRIC, 1965; HOLWERDA; SCATENA; BRUIJNZEEL, 2006; LLOYD; MARQUES, 1988; RODRIGO; AVILA, 2001; ZIEGLER et al., 2009).

Nesse contexto, esse estudo quantificou a precipitação interna em um fragmento de Mata Atlântica, localizado na região Sul do Brasil, utilizando os métodos de coleta fixo e móvel, objetivando: (1) calcular a precipitação interna para ambas as metodologias de monitoramento; (2) verificar se existem diferenças significativas entre os valores de  $P_i$  coletados em cada método; e (3) identificar a variabilidade espacial e a estabilidade temporal da precipitação interna, bem como os erros associados aos diferentes sistemas de coleta empregados.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Este artigo foi desenvolvido tendo por base a dissertação de mestrado “Interceptação da chuva em diferentes formações

florestais na região de Santa Maria-RS”, desenvolvida pela primeira autora, sob orientação da segunda autora, durante seu mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria, área de concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

## Área experimental

O monitoramento foi realizado em uma parcela experimental com vegetação do tipo mata nativa, característica do Bioma Mata Atlântica; localizada na região Sul do Brasil, em uma sub-bacia do Rio Vacacaí Mirim (Figura 1). Essa sub-bacia abrange uma área aproximada de 4,5 km<sup>2</sup>, com vegetação predominante do tipo mata nativa, além de áreas de campo nativo, pastagens, agricultura e plantios de eucalipto (*Eucalyptus* sp).

De acordo com o sistema de classificação Köppen, o clima é do tipo subtropical Cfa; caracterizado pela ocorrência de precipitações durante todos os meses do ano, sem grande diferença quantitativa entre o mês mais chuvoso e o mês mais seco (FELTRIN et al., 2011). A precipitação média anual varia de 1.700 a 1.800 mm, com uma frequência de 113 dias de chuva no ano. A temperatura média anual situa-se em torno de 19,3°C, sendo a média das temperaturas máximas do mês mais quente (janeiro) de 31,5°C e do mês mais frio (julho) de 9,3°C (MORENO, 1961).

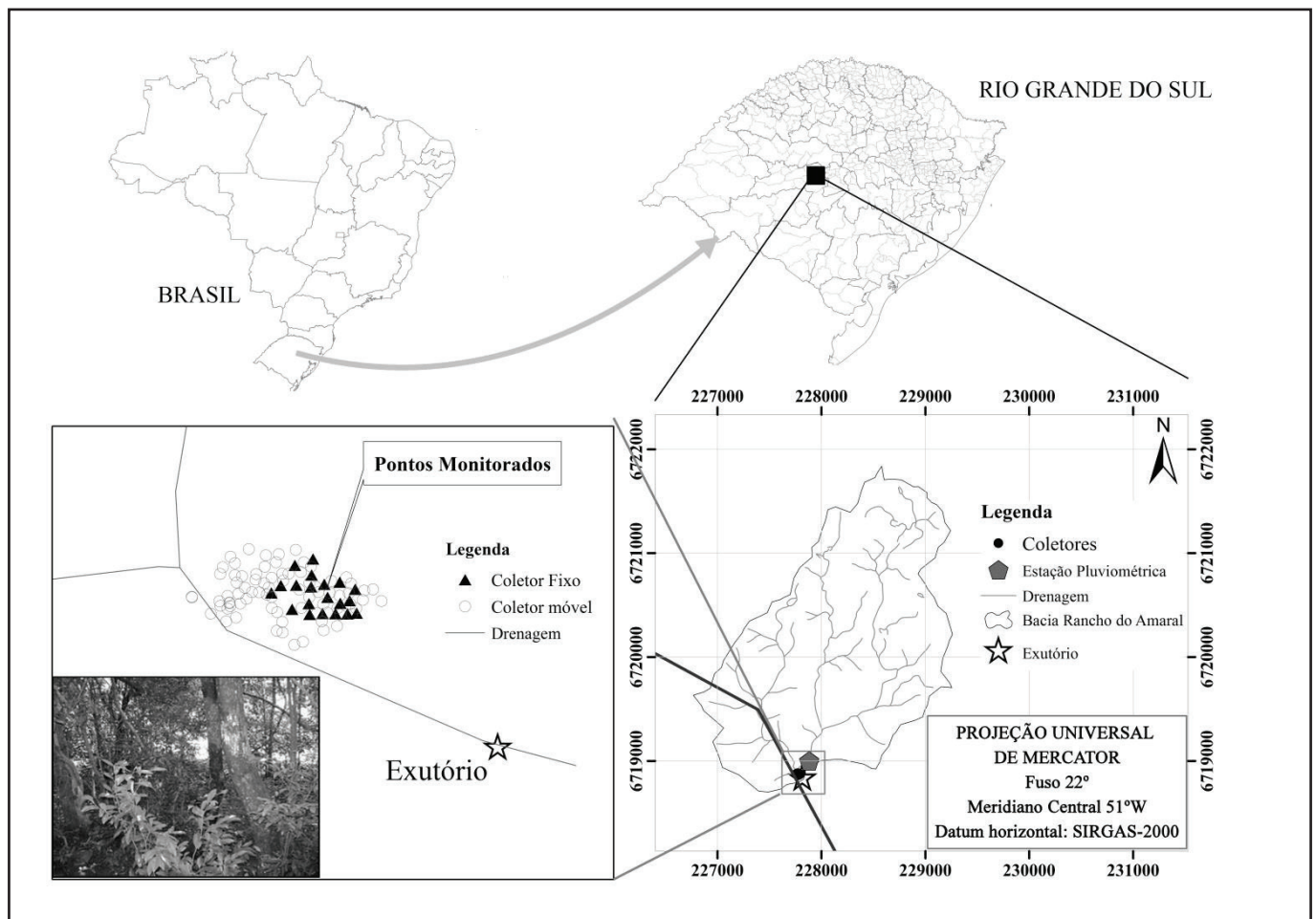


Figura 1 – Localização dos coletores para monitoramento de  $P_i$  e do pluviômetro para monitoramento de  $P$

## Precipitação externa ( $P_e$ )

O monitoramento da precipitação externa foi realizado por meio de um pluviômetro automático, localizado em uma estação climatológica situada a aproximadamente 165 m da parcela monitorada. Esse pluviômetro foi previamente calibrado em laboratório.

## Precipitação interna ( $P_i$ )

A precipitação interna foi monitorada a partir de coletores instalados abaixo do dossel, distribuídos de tal forma a obter uma adequada representatividade espacial. O monitoramento foi realizado entre 20 de janeiro de 2010 e 11 de fevereiro de 2011, totalizando 35 coletas de  $P_i$ . Cada coleta constituiu-se de um ou mais eventos de chuva.

A parcela monitorada (12 m x 50 m) é uma área de preservação permanente, com mais de 200 árvores, diâmetro variando de poucos centímetros até 0,9 m e altura entre 0,6 e 15 metros. As espécies presentes compõe-se de *Strychnos brasiliensis* Mart.; *Annona neosalicifolia* H.Rainer; *Myrcarpus frondosus* Allemão; *Matayba elaeagnoides* Radlk.; *Ocotea puberula* (Rich.) Nees; *Casearia sylvestris* Sw.; *Allophylus edulis* (A.St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl.; *Zanthoxylum fagara* (L.) Sarg.; *Celtis* sp.; *Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll.Arg.; *Liana*; *Prunus myrtifolia* (L.) Urb.; *Sideroxylon obtusifolium* (Roem. & Schult.) T.D.Penn.; *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong; *Phytolacca dioica* L.; unha de gato (família Fabaceae); *Urera baccifera* (L.) Gaudich. ex Wedd.

Nessa área foram instalados 101 pontos possíveis de monitoramento, espaçados aproximadamente de um metro entre si, sendo utilizados 40 coletores de  $P_i$ . Vinte deles permaneceram fixos (Sistema Fixo – SF) durante todo o monitoramento e 20 foram rotacionados (Sistema Móvel – SM) nas 81 posições restantes. Os pontos fixos foram escolhidos, aleatoriamente, dentro da parcela, enquanto que os 20 instrumentos móveis foram rotacionados a cada nova coleta, sendo sua posição definida mediante sorteio prévio. Na figura 1 são apresentadas as 101 posições de monitoramento, com delimitação dos 20 instrumentos mantidos na posição fixa.

Os coletores de  $P_i$  foram confeccionados a partir de conexões comerciais de tubulações de esgoto, conforme metodologia proposta por Baumhardt et al. (2009). A união desses componentes forma um pluviômetro de montagem rápida, e de fácil limpeza e manutenção (Figura 2). Para evitar a entrada de folhas, insetos e pequenos animais que pudessem interromper o fluxo da água, utilizou-se uma tela de PVC na parte superior do coletor. Cada coletor ( $d=100$  mm) foi instalado em uma estaca de madeira, através de abraçadeiras de nylon, a 60 cm da superfície do solo. Em cada parcela monitorada, a água coletada nos coletores era armazenada em recipientes do tipo “pet” de dois litros, os quais no momento da coleta eram substituídos por outras garrafas vazias. Esses frascos foram pesados em balança de precisão e o valor foi transformado em milímetros de chuva pela Equação 1:

$$CC_{P_i} = \frac{X}{\pi \cdot (R_{pluv})^2} \quad (1)$$

onde:  $CC_{P_i}$  é a chuva coletada ( $L/m^2$  ou mm);  $R$  é o raio do coletor utilizado na coleta (m); e  $X$  é o volume de água coletada (L) ou peso de água coletada, já que: 1kg de água =  $1 dm^3$  de água = 1L de água e,  $1L/m^2 = 1mm$ .

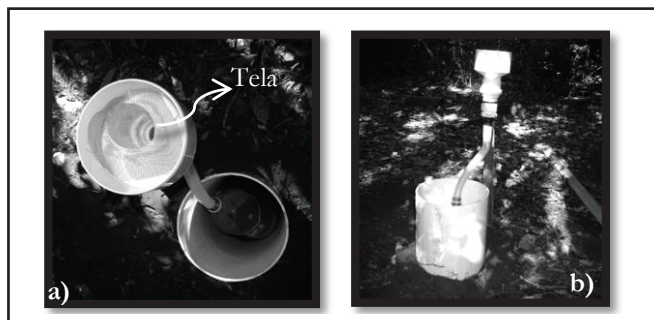


Figura 2 - Coletores utilizados para monitoramento de  $P_i$  (a) vista superior e (b) vista lateral

A  $P_i$  média de uma coleta, em milímetros, foi estipulada como sendo o valor médio das  $P_i$  monitoradas em cada coletor utilizado na coleta considerada. Os valores médios, mediano e a faixa de variação de  $P_i$  da coleta, em % de  $P_e$ , foram determinados a partir do volume médio coletado (em mm) e da precipitação externa total da coleta.

## Análises estatísticas

As diferenças estatísticas entre a metodologia de coleta estacionária e móvel; e entre os valores registrado em cada coletor foram verificadas por teste estatístico (ANOVA). A ANOVA é um teste paramétrico utilizado para verificação da existência de diferenças entre as médias de uma determinada variável em relação a um tratamento com dois ou mais níveis categóricos.

O número mínimo de coletores fixos requeridos para estimar  $P_i$ , com um intervalo de confiança de 95% e um erro pré-fixado ( $\epsilon$ , em % da  $P_i$  média), foi estimado pela Equação 2 (KIMMINS, 1973).

$$N_{\min} = \frac{z_c^2 \times CV^2}{\epsilon^2} \quad (2)$$

onde:  $Z_c$  é o valor crítico para o intervalo de confiança estipulado ( $Z_c = 1,96$  para intervalo de confiança de 95%);  $CV$  é o coeficiente de variação (%);  $\epsilon = 10\%$ .

O erro padrão da média ( $Ep$ ) foi estimado em função do número de coletores, sendo definido pela Equação 3 (VIEIRA; PALMIER, 2006).

$$Ep = \frac{\sigma}{n^{0,5}} \quad (3)$$

onde:  $Ep$  é o erro padrão da média (%);  $\sigma$  é o desvio padrão e  $n$  é o número de coletores utilizados na coleta.

A variabilidade espacial da precipitação interna foi avaliada por meio do coeficiente de variação ( $CV$ ), isto é, pelo desvio padrão como uma proporção da média. Essa variação foi analisada para cada coleta e para o período total do monito-



mento. No primeiro caso, o CV foi calculado tendo por base os valores individuais de  $P_i$  registrados para cada coletor utilizado na coleta. Na segunda situação, o CV foi determinado a partir das  $P_i$  médias de cada coleta.

A estabilidade temporal dos padrões da precipitação interna foi analisada através da  $P_i$  média normalizada, conforme Equação 4 (KEIM; SKAUGSET; WEILER, 2005; SATO; AVELAR; NETTO, 2011):

$$\tilde{P}_i = \frac{P_i - \bar{P}_i}{\sigma} \quad (4)$$

onde:  $\sigma$  é o desvio padrão da  $P_i$  para todos os pontos amostrados na coleta;  $\bar{P}_i$  é a  $P_i$  média da coleta; e  $\tilde{P}_i$  é a  $P_i$  normalizada para cada coletor.

A estabilidade temporal foi determinada plotando-se os valores de  $P_i$  normalizada (média zero e variação unitária) para cada coletor, em ordem crescente da  $P_i$  média normalizada de cada coletor.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Comparações gerais entre os dois sistemas de monitoramento

A precipitação externa total monitorada nas 35 coletas foi igual a 1657,3 mm, variando entre 8,2 e 149,9 mm, com média de 47,3±35,7 mm e mediana de 35,9 mm. Do total analisado, 5,71% das precipitações possuíam volume entre 0-10 mm, 17,14% entre 10-20 mm, 11,43% entre 20-30 mm, 22,86% entre 30-40 mm, 14,29% entre 40-50 mm e 28,57% foram superiores a 50 mm.

A precipitação interna total registrada para o sistema móvel (com rotação dos coletores) foi igual a 71,21% de  $P_e$  (1180,2 mm), enquanto que para o sistema fixo (coletores fixos) esse percentual foi de 78,60% de  $P_e$  (1302,7 mm). Arcova, Cicco e Rocha (2003) reportaram  $P_i$  de 81,2% de  $P_e$  para uma parcela de Floresta Atlântica secundária, localizada em Cunha (São Paulo). No mesmo estudo, os autores observaram  $P_i$  igual a 72% de  $P_e$  para o período pouco chuvoso. O sistema de monitoramento utilizado (16 coletores) foi mantido fixo durante todo o período de análise. Oliveira Júnior e Dias (2005) analisaram a  $P_i$  em um fragmento de regeneração de Mata Atlântica secundária, localizada em Viçosa (Minas Gerais), registrando um valor de 80% de  $P_e$ . O método de coleta empregado também foi o sistema fixo (25 coletores). Da mesma forma, Alves et al. (2007) usaram 25 coletores fixos para monitoramento de  $P_i$ , reportando percentual de 81,86% de  $P_e$  para uma área de regeneração avançada de Floresta Atlântica, monitorada em Viçosa (Minas Gerais). Scheer (2009) observou uma  $P_i$  igual a 84% de  $P_e$  para uma Floresta Atlântica (Ombrófila Densa Aluvial, capoeira) em estágio inicial/intermediário de regeneração, localizada em Guaraqueçaba (Paraná). O autor utilizou 15 coletores mantidos em posição fixa. Por outro lado, Moura et al. (2009) empregou o sistema móvel para o monitoramento de  $P_i$  (24 coletores rotacionados após 5 coletas), verificando um percentual de 84,9% de  $P_e$  para o bosque superior de um fragmento de Floresta Atlântica, situada

em Recife (Pernambuco). Moura et al. (2012), empregando o mesmo sistema de monitoramento, observaram uma  $P_i$  de 72,1% de  $P_e$  durante o período pouco-chuvoso, para um fragmento de Floresta Atlântica localizada em Recife (Pernambuco).

No sistema de coleta fixo, a  $P_i$  média das coletas variou entre 3,3 e 133,7 mm, com média de 37,2±32,7 mm e mediana de 26,6 mm. Em porcentagem, a  $P_i$  média das coletas oscilou entre 39,88 e 104,62% de  $P_e$ , com média de 71,65±16,05% de  $P_e$  e mediana de 71,09% de  $P_e$ . Em uma das coletas, a  $P_i$  média foi superior a precipitação externa ( $P_i=104,62\%$  de  $P_e$ , sendo;  $P_e=73,5$  mm). No sistema com rotação dos coletores, a  $P_i$  máxima verificada foi igual a 130,7 e a mínima foi de 3,3 mm, com média de 33,7±29,7 mm e mediana de 27,2 mm. Em porcentagem, as  $P_i$  médias observadas nas coletas variaram entre 40,27 e 87,18% de  $P_e$ , com média de 65,65±14,25% de  $P_e$  e mediana de 67,96% de  $P_e$ .

Análises gráficas (Figura 3) e estatísticas (ANOVA) demonstram que as  $P_i$  médias observadas para os sistemas móvel e fixo não diferem estatisticamente entre si, a um nível de significância ( $\alpha$ ) de 0,05 ( $p=0,103$ ). Ambos os sistemas apresentam forte correlação entre a precipitação externa e a precipitação interna ( $R=0,980$  e  $R=0,988$ ; para o sistema móvel e fixo, respectivamente,  $p<<0,05$ ); sendo as maiores semelhanças observadas para precipitações externas inferiores a 50 mm (ver Figura 3). Holwerda, Scatena e Bruijnzeel (2006) e Ziegler et al. (2009) também observaram que as diferenças entre os valores de  $P_i$  dos sistemas de monitoramento móvel e fixo não foram significativas. Os primeiros autores analisaram uma floresta em Porto Rico, empregando 30 coletores móveis e 30 fixos. Os segundos monitoraram uma floresta nativa perturbada localizada na Tailândia, utilizando um sistema estacionário (4 calhas) e um móvel (20 coletores rotacionáveis).

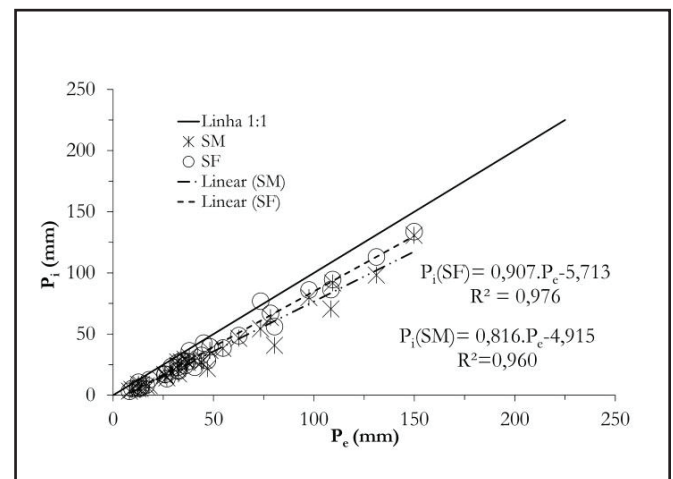


Figura 3 – Precipitação externa x precipitação interna para os sistemas móvel (SM) e fixo (SF)

As  $P_i$  médias das coletas observadas nas diferentes metodologias de monitoramento estão fortemente correlacionadas entre si (Figura 4,  $R=0,985$  e  $p<<0,05$ ). O ajuste mais próximo do ideal (linha 1:1), tanto para a relação  $P_e$  x  $P_i$  quanto para a relação entre as  $P_i$  dos dois sistemas, também é verificado para precipitações externas inferiores a 50 mm. Holwerda, Scatena e

Bruijnzeel (2006) também registraram boa correlação entre as  $P_i$  médias dos métodos de monitoramento móvel e fixo ( $R^2=0,97$ ). Durante monitoramento realizado em duas florestas decíduas, localizadas nas encostas sul e norte da bacia do rio Dragonja (Eslovênia), Sraj, Brilly e Mikos (2008) também verificaram forte correlação entre as  $P_i$  médias dos sistemas fixo e móvel ( $R^2=0,986$  para a face norte e  $0,979$  para a face sul).

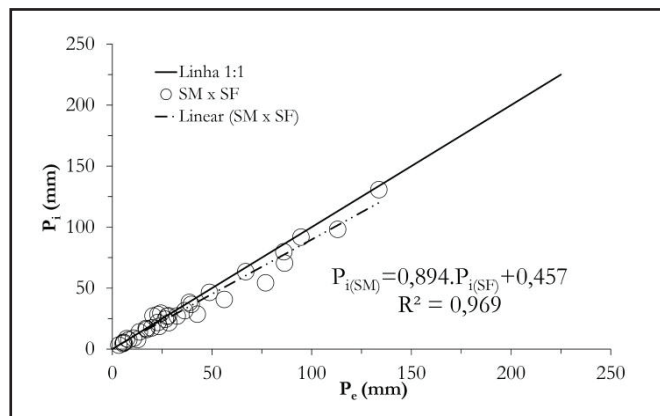


Figura 4 – Relação entre as precipitações internas dos sistemas de monitoramento móvel e fixo

O total acumulado de  $P_e$  e  $P_i$  apresenta tendência semelhante de comportamento para ambas as metodologias de monitoramento, sendo que as  $P_i$  acumuladas das duas metodologias

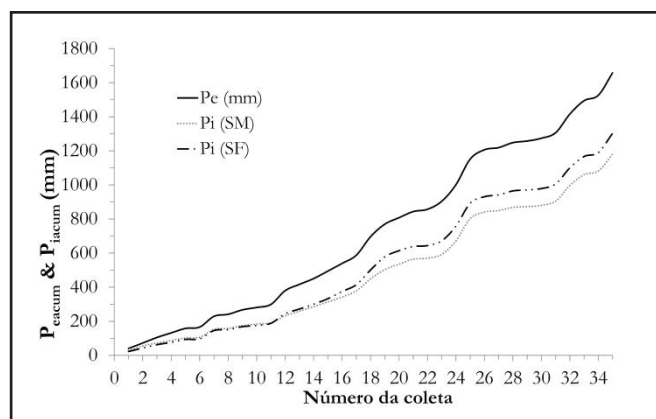


Figura 5 - Padrões de variação da precipitação externa e precipitação interna acumuladas, para os sistemas de monitoramento móvel e fixo

praticamente coincidem até 15 mm e, a partir desse patamar, os valores observados para o sistema fixo são maiores do que aqueles verificados para o sistema móvel (Figura 5).

Em geral, o CV da  $P_i$  das coletas oscila em torno de 25 e 75% para precipitações entre 1-50 mm; e entre 25 e 50% para precipitações superiores a 50 mm. Todavia, no método móvel, algumas coletas, com precipitação entre 10 e 40 mm, apresentaram maior dispersão do CV, ultrapassando 75% (Figura 6a). A variabilidade da  $P_i$  mostra tendência de diminuição com o aumento da precipitação externa, tendendo a estabilidade para

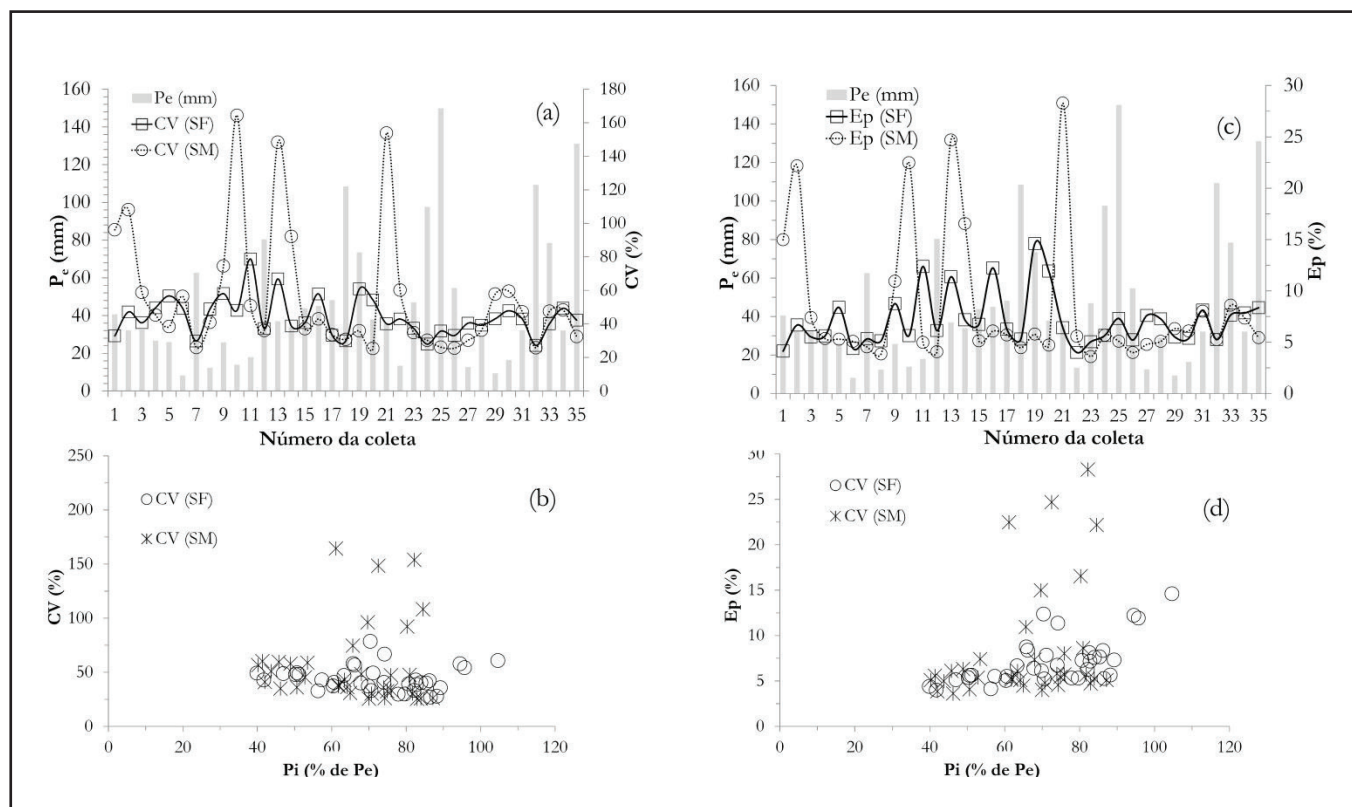


Figura 6 – Análises comparativas entre os sistemas móvel e fixo, por coleta monitorada, considerando: (a) Coeficiente de variação da precipitação interna média e precipitação externa; (b) Coeficiente de variação da precipitação interna média e precipitação interna; (c) Erro padrão médio da  $P_i$  e precipitação externa e; (d) Erro padrão médio da  $P_i$  e precipitação interna

valores mais elevados de  $P_e$ . Essa tendência de diminuição do CV (ou da variação da  $P_i$ ) em função do aumento da precipitação externa também foi reportada por outros autores, para outras tipologias vegetais (CARLYLE-MOSES; LAUREANO; PRICE, 2004; HOLWERDA; SCATENA; BRUIJNZEEL, 2006; KIMMINS, 1973; SATO; AVELAR; NETTO, 2011; STAELENS et al., 2006).

A variação do CV das coletas em relação à  $P_i$ , comumente, mostra tendência de diminuição com o aumento da  $P_i$  (em pequena amplitude), nos dois sistemas de coleta; tendendo à estabilidade. No entanto, seis das coletas apresentaram valores mais dispersos (Figura 6b).

Para a metodologia de monitoramento baseada nos instrumentos fixos, o erro padrão da média das 35 coletas variou entre 4,01 e 14,61%, com valor médio de 7,15% por coleta. Por outro lado, para o sistema móvel, o Ep oscilou entre um mínimo de 3,60 e um máximo de 28,29%, com média de 8,39%. Em 14 das 35 coletas realizadas, o Ep foi superior para o método móvel e nas demais (21 coletas), o Ep foi mais elevado para o sistema fixo. A maior parcela das coletas apresentou Ep entre 2,5 e 10%, para ambas as metodologias (Figura 6c); sendo que 29 e 30 coletas apresentaram  $Ep \leq 10$  no sistema móvel e fixo, respectivamente. Alguns autores sugerem que um Ep aceitável para a estimativa de  $P_i$  deve oscilar entre 5 e 10% (HOLWERDA; SCATENA; BRUIJNZEEL, 2006; KIMMINS, 1973; RODRIGO; AVILA, 2001), faixa comumente verificada na maior parcela das coletas monitoradas nesse estudo.

Na metodologia móvel, maiores Ep foram observados para  $P_e$  entre 10 e 40 mm, enquanto que para o método fixo, quatro dos maiores Ep foram registrados para  $P_e$  entre 10 e 50 mm; e um foi verificado para  $P_e > 50$  mm (ver Figura 6c). Frequentemente, a variação do Ep médio das coletas em relação à  $P_i$  mostra tendência de aumento com a elevação de  $P_i$  (em pequena amplitude) nos dois sistemas de coleta; à exceção daquelas coletas que mostraram valores mais dispersos (Figura 6d). Os maiores Ep foram observados para uma  $P_i$  entre 60 e 90% de  $P_e$  no sistema móvel e entre 70 e 120% de  $P_e$  no método fixo.

Ao analisar uma floresta baixa de montanha localizada em Porto Rico, Holwerda, Scatena e Bruijnzeel (2006) registraram valores mais elevados para o coeficiente de variação e erro padrão, de ambos os métodos de monitoramento (fixo e móvel). Os autores encontraram CV entre 50 e 150% para precipitações entre 0-10 mm e entre 50 e 100% para precipitações superiores a 10 mm; enquanto que o Ep observado para o sistema fixo foi igual a 18% e para o método móvel variou entre 8 e 9%. Por outro lado, Ziegler et al. (2009) verificaram CV e Ep menores para os dois sistemas de monitoramento (CV=10% e Ep=2%). O monitoramento foi realizado em uma floresta perturbada pela ação antrópica, localizada no norte da Tailândia. Contudo, há que se destacar que os autores desprezaram o efeito das aberturas nos dosséis, responsáveis pelo aumento da variabilidade espacial dos valores de  $P_i$  coletados.

Quando são considerados apenas os valores das  $P_i$  médias de cada coleta, o CV e o Ep resultantes do período monitorado são maiores para o sistema fixo (CV=22,41% e Ep=3,59% contra 21,71% e 3,19% para o sistema móvel). Para essa variação, o número de instrumentos utilizados nas duas

metodologias de monitoramento seria suficiente para assegurar um erro de 10% da  $P_i$  média, com nível de confiança de 95%.

Os valores médios de  $P_i$  monitorados durante 1 ano por Arcova, Cicco e Rocha (2003), mostraram uma  $P_i$  média de  $77,27 \pm 9,84\%$  de  $P_e$  para uma Floresta Atlântica, o que equivaleria a CV de 12,73% e Ep de 3,18% ( $n=16$  coletores fixos). Oliveira Júnior e Dias (2005), durante monitoramento realizado entre setembro de 2002 e maio de 2003, observaram  $P_i$  média de  $74,78 \pm 18,99\%$  de  $P_e$  para um fragmento de Mata Atlântica (Viçosa, MG). Os valores médios de  $P_i$  observados resultariam em um CV de 25,39% e Ep de 5,08% (3 parcelas,  $n=25$  coletores/parcela). Togashi, Montezuma e Leite (2012) encontraram fluxo de atravessamento médio de  $93,75 \pm 11,25$  para tipologia vegetal secundária inicial (SI),  $89,25 \pm 11,50$  para a borda da floresta (BD) e  $75,75 \pm 7,00\%$  de  $P_e$  para a parcela de floresta secundária avançada (SA). O monitoramento foi realizado em uma Floresta Ombrófila Densa Submontana (Pedra Branca, RJ), durante os períodos do verão 2009/2010, outono/2010, inverno/2010 e primavera de 2009/2010. Os resultados da  $P_i$  média por estação resultariam em um CV de 11,82; 13,05 e 9,29% e um Ep de 4,83; 5,33 e 2,68% para as tipologias SI, BD e AS, respectivamente. Os autores utilizaram 6 coletores para a SI e BD e 12 para a AS, em posição fixa. Wullaert et al. (2009) observaram CV menores para uma floresta tropical baixa de montanha, situada na Cordilheira Real dos Andes (Equador). Os autores identificaram variações do CV entre 12 e 17% para três parcelas não perturbadas; e entre 12 e 15% para três áreas modificadas pela ação antrópica. Em contrapartida, Zimmermann et al. (2013), ao analisar a  $P_i$  para 20 parcelas de uma floresta tropical localizada no Panamá, verificaram um erro padrão médio de 4,11%, sendo o mínimo observado igual a 2,9 e o máximo de 5,5%. Já o coeficiente de variação oscilou entre 15,1 e 40,6%, com valor médio de 24,44%.

Todavia, há que se considerar que tais percentuais são resultantes de estudos que utilizaram diferentes tipos de coletores, com número variável de instrumentos e em diferentes arranjos. Além disso, as características pluviométricas e climatológicas podem diferir significativamente daquelas observadas durante esse experimento, influenciando a variabilidade da  $P_i$  coletada.

Os valores mais elevados de Ep e CV foram observados para aquelas coletas em que existiram pontos monitorados com maior variação de  $P_i$  em relação aos demais. De fato, tanto para o sistema móvel quanto para o fixo, ocorreram situações em que os valores de  $P_i$  em cada coletor (representados por um círculo) apresentaram diferenças em relação ao valor médio da coleta (representado pelo tracejado); sendo que muitos deles registraram  $P_i$  menor ou maior do que a média estimada para a coleta. Alguns desses pontos apresentaram  $P_i$  superior à precipitação externa, aumentando ainda mais a variabilidade espacial da  $P_i$  dentro da coleta (Figuras 7a,b).

Dos 684 pontos monitorados nas 35 coletas realizadas para o sistema fixo, 15,5% (ou 106 pontos) apresentaram  $P_i$  superior a precipitação externa (ver Figura 7a), confirmando a hipótese de que existem pontos de caminho preferencial que direcionaram a água para determinados coletores. Por outro lado, no sistema móvel apenas 9,86% (ou 68 pontos) dos 690 pontos analisados mostraram  $P_i$  superior a  $P_e$  (ver Figura 7b).



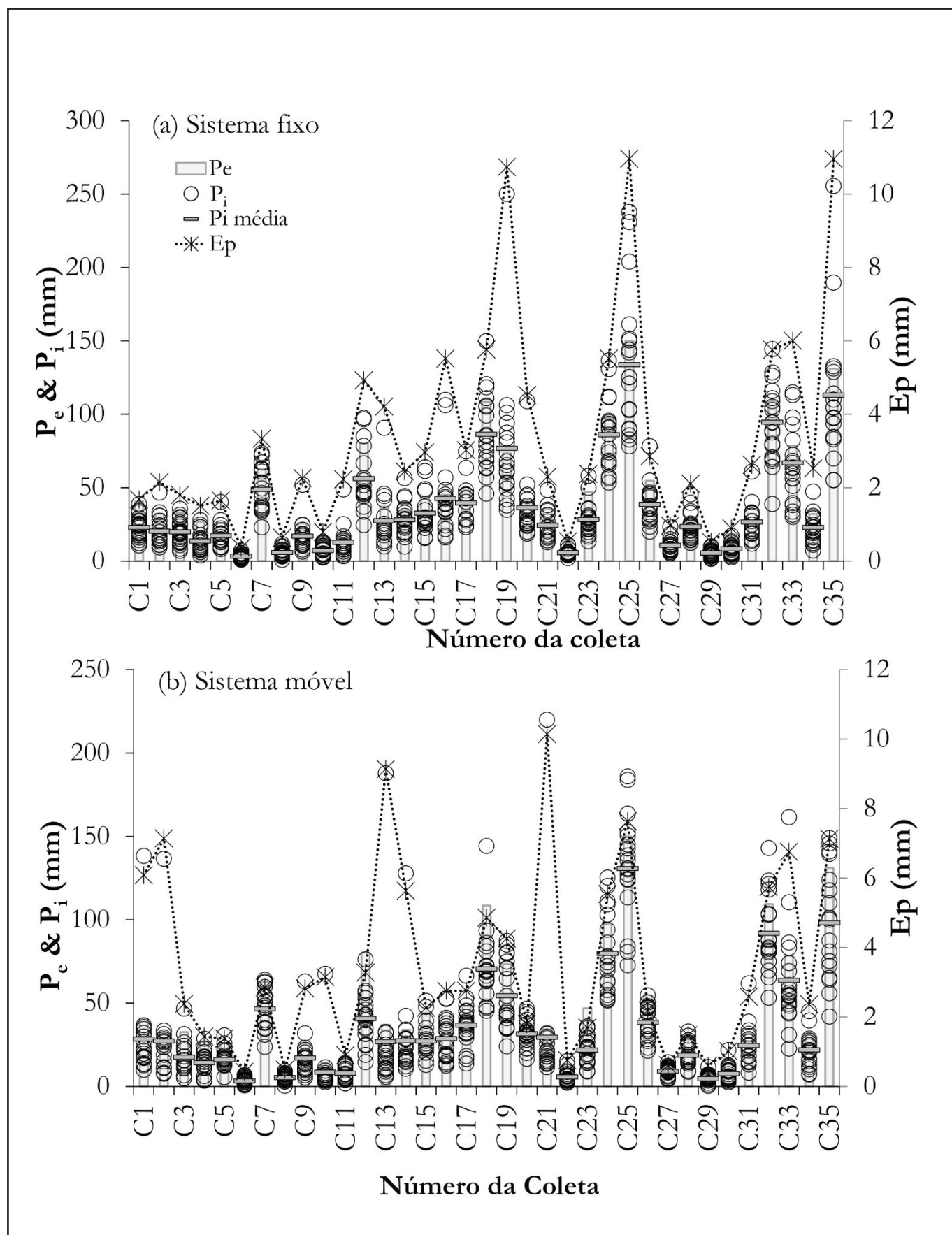


Figura 7 – Variação da precipitação interna por coletor nos sistemas (a) fixo e (b) móvel



Tais pontos com  $P_i$  superior a  $P_e$  foram verificados em 29 das 35 coletas monitoradas no método móvel e em 30 das coletas realizadas para o sistema fixo, ou seja, a maioria das coletas apresentou pelo menos um ponto de monitoramento com  $P_i$  superior à precipitação externa total.

Lloyd e Marques (1988) observaram que 29% das medidas de precipitação interna foram superiores a precipitação externa e que 1,6% ultrapassaram o dobro desta em uma floresta de terra firme (Floresta Amazônica não perturbada), situada em Manaus (Amazonas). Germer, Elsenbeer e Moraes (2006) também constataram esse comportamento em 19% dos eventos analisados em uma floresta tropical aberta (Floresta Ombrófila Aberta, com grande número de palmeiras), localizada em Rondônia. Do mesmo modo, Moura et al. (2009) verificaram que 37 e 15% das coletas individuais de  $P_i$  foram superiores a precipitação no período chuvoso e pouco chuvoso, respectivamente. Os autores monitoraram um fragmento de Mata Atlântica em Recife (Pernambuco). Ziegler et al. (2009) reportaram que o percentual de medidas individuais de  $P_i$  superiores a  $P$  foram maiores quando se empregou o sistema móvel (18% contra 7% para o sistema estacionário).

Da mesma forma, percebe-se a ocorrência de variabilidade temporal nos valores de  $P_i$  monitorados entre coletas distintas, delimitando o monitoramento de um valor atípico de  $P_i$  para um dado coletor, em uma determinada coleta, mas por outro lado, um valor dentro do esperado (em relação aos demais coletores) para uma coleta com diferente volume pluviométrico.

Tal variabilidade pode ser mais bem percebida no sistema fixo, que empregou sempre os mesmos coletores. Nesse caso, a ocorrência de valores anormais de  $P_i$  esteve geralmente associada a coletas de maior volume pluviométrico, denotando que determinados pontos de gotejamento e áreas de maior intensidade foliar podem ter sido ativados durante uma coleta específica, levando ao monitoramento de valores mais elevados de  $P_i$  em um dado coletor (ver Figura 7a). No sistema móvel, provavelmente esses pontos foram monitorados em coletas específicas, enquanto que em outras foram considerados outros pontos para monitoramento de  $P_i$ . Assim, algumas coletas apresentaram muito baixa variação entre os valores de  $P_i$  monitorados nos diferentes coletores, enquanto que outras mostraram uma  $P_i$  muito variável de um coletor para outro. Desse modo, a ocorrência de  $P_i$  muito variável em uma coleta e a ausência em

outra, no sistema móvel, dependeria dos pontos monitorados na coleta; e do volume pluviométrico dessa (ver Figura 7b).

### Estabilidade temporal dos padrões da precipitação interna

A precipitação interna normalizada, em cada coletor, não se distribui aleatoriamente ao longo do tempo. Os valores organizados em ordem crescente da  $P_i$  média, normalizada para média zero e variância unitária, demonstram que muitos dos coletores apresentam tendência de registrar valores maiores ou menores do que a  $P_i$  média da coleta, para ambos os sistemas de monitoramento.

Esse comportamento pode ser observado na figura 8, onde a linha cheia (em vermelho) representa a  $P_i$  normalizada média de cada coletor, considerando todas as coletas em que o coletor foi utilizado; e os pontos (em preto) representam a  $P_i$  normalizada em um único coletor, em uma única coleta. Os pontos foram organizados em ordem crescente da  $P_i$  normalizada média de cada coletor, sendo os pontos de um mesmo coletor plotados sempre na mesma posição do eixo horizontal.

Keim, Skaugset e Weiler (2005) analisaram os padrões de variabilidade espacial e temporal de duas tipologias florestais (vegetação conífera jovem e adulta; e vegetação decidual, no período com folhas e sem folhas), ambas localizadas no noroeste do pacífico (EUA). Os autores utilizaram 94 coletores de precipitação interna para verificação da variabilidade da  $P_i$  nessas tipologias; observando dois tipos de tendências. A primeira, nomeada “persistência extrema”, é caracterizada pela declividade acentuada dos extremos da linha da  $P_i$  média normalizada, indicando a tendência de alguns coletores manterem-se muito secos ou muito úmidos. A segunda, chamada de “persistência geral”, está relacionada à declividade geral da linha da  $P_i$  normalizada média, demonstrando a propensão dos coletores individuais apresentarem valores maiores ou menores do que a média registrada na coleta.

Nesse estudo, essas tendências também foram observadas nos dois métodos de monitoramento. No caso do sistema fixo, percebe-se uma persistência geral mais acentuada para a  $P_i$  média normalizada, com ausência de coletores muito secos (baixa  $P_i$  em relação à média), mas com persistência de coletores úmidos, ou seja, com valores de  $P_i$  elevados em relação à  $P_i$

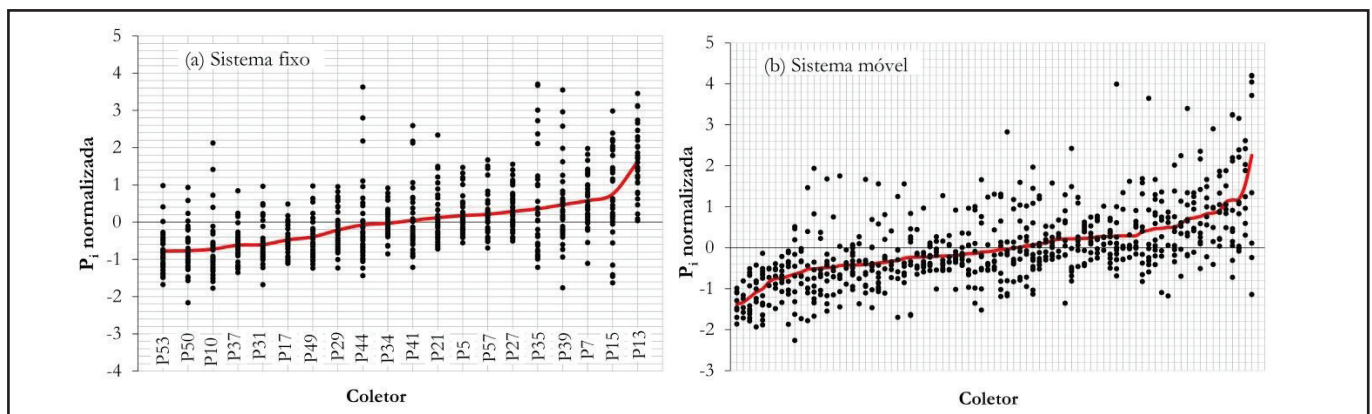


Figura 8 – Estabilidade temporal da precipitação interna normalizada para os sistemas (a) fixo e (b) móvel

média da coleta (ver Figura 8a). Por outro lado, para o sistema móvel de monitoramento percebe-se uma persistência geral mais moderada da  $P_i$  normalizada média (menor declividade da linha), entretanto com presença de coletores com valores extremos muito seco e muito úmido, ou seja, com alguns coletores com valores de  $P_i$  elevados em relação à  $P_i$  média da coleta e outros com  $P_i$  menor do que a  $P_i$  média da coleta (ver Figura 8b).

Resultados semelhantes aos da metodologia fixa foram verificados por Keim, Skaugset e Weiler (2005), para uma vegetação conífera jovem; e também por Sato, Avelar e Netto (2011) para uma plantação de eucalipto (2,5 anos de idade), localizada no sudeste do Brasil. Comportamento análogo ao registrado no sistema móvel também foi reportado por Keim, Skaugset e Weiler (2005) para vegetação decidual, durante o período com ausência das folhas.

Raat et al. (2002) também observaram padrões consistentes para a variação da precipitação interna, ao longo do tempo. Os autores monitoraram uma área contendo Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii*, Franco L.), também conhecido como Abeto de Douglas, no centro de The Netherlands. Da mesma forma, Staelens et al. (2006) notaram significativa estabilidade temporal nos padrões de distribuição da  $P_i$  de uma floresta decidual mista (Bélgica), monitorada durante 2 anos; sendo a  $P_i$  normalizada média menos variável durante o período de ausência das folhas. Wullaert et al. (2009) também registraram alta estabilidade temporal da variação espacial da  $P_i$  durante monitoramento realizado, por 4 anos, em uma floresta úmida de montanha, localizada na Cordilheira Real dos Andes (Equador). Fathizadeh et al. (2014) quantificaram a  $P_i$  e sua variabilidade, considerando cinco árvores de *Quercus brantii* var. *Persica*, localizadas na floresta de Zagros (Irã). Os autores reportaram alta variabilidade na redistribuição da  $P_i$  ao longo do tempo, identificando persistência geral moderada nos padrões da  $P_i$  normalizada média, com pequena diferença entre as árvores analisadas. Uma pequena parcela dos coletores mostrou-se extremamente úmido ou seco e, dependendo das árvores, 1,4 a 5,2% dos coletores apresentaram  $P_i$  normalizada média acima de zero (teste-t;  $\alpha=0.05$ ). Germer, Elsenbeer e Moraes (2006) encontraram valores mais variáveis para as  $P_i$  normalizadas médias, o que gerou maior variabilidade da  $P_i$  monitorada nos diferentes coletores. A alta variabilidade da  $P_i$  foi atribuída à presença de *Orbignya phalerata*, devido suas características morfológicas, que ocasionaram o afunilamento do escoamento em direção a alguns pontos específicos de monitoramento. Além disso, os autores identificaram fortes similaridades na distribuição temporal dos volumes de  $P_i$  observados nos coletores situados próximos a esse tipo de vegetação.

Comumente, os coletores tendem a registrar valores abaixo ou acima da  $P_i$  média da coleta, mantendo essa tendência de comportamento ao longo do tempo. Todavia, ocorrem situações em que coletores com característica de registrar  $P_i$  abaixo da média da coleta apresentam valores superiores à média para algumas coletas, de acordo com a faixa de  $P_e$  analisada. Da mesma forma, coletores que usualmente mostram  $P_i$  acima da  $P_i$  média da coleta registraram valores inferiores à média, para algumas coletas específicas, conforme o volume pluviométrico da precipitação externa. Tal comportamento pode ter ocorrido em

razão da ativação de alguns pontos caracterizados como caminhos preferencias ou áreas de alta intensidade foliar. Nesse caso, o volume pluviométrico e a intensidade da coleta influenciariam o momento em que determinado ponto passaria a manifestar tal comportamento, afetando os valores de  $P_i$  monitorados em dados coletores e, por consequência, ocasionando a variação da  $P_i$  coletada nesse coletor, ao longo do tempo.

Staelens et al. (2006) também observaram que os coletores tendem a manter comportamento semelhante da  $P_i$  monitorada, nas diferentes classes de precipitação externa, registrando  $P_i$  superiores ou inferiores à  $P_i$  média da coleta. Os autores subdividiram os dados de  $P_i$  monitorados em diversas classes de  $P_e$  (1 a <2; 2 a <5; 5 a <10; 10 a <15; e  $P_e$  >15 mm).

## CONCLUSÕES

Esse estudo quantificou a precipitação interna de um fragmento de mata atlântica e sua variabilidade espacial e estabilidade temporal, empregando dois sistemas de monitoramento, composto por coletores móveis e fixos. Não foram encontradas diferenças significativas, a um nível de significância de 0,05, nos valores médios de  $P_i$  monitorados nas diferentes metodologias, sendo os percentuais de  $P_i$  registrados semelhantes aos reportados por outros autores, para a mesma tipologia vegetal.

Os erros padrões verificados estão, comumente, dentro da faixa desejável para esse tipo de monitoramento, nos dois métodos considerados. Tanto o coeficiente de variação quanto o erro padrão tendem a diminuir com o aumento da precipitação externa.

O monitoramento e as análises da estabilidade temporal e da variabilidade espacial da  $P_i$ , para ambas as metodologias empregadas, mostraram a existência de caminhos preferenciais e áreas de grande intensidade foliar na floresta do tipo Mata Atlântica, resultando em valores de  $P_i$  maiores em determinados pontos de coleta. Esses pontos exercem importante controle sobre os padrões de distribuição temporal e espacial da  $P_i$  e, por consequência, sobre os processos hidrológicos. Em geral, os coletores tendem a manter o mesmo padrão de comportamento para diferentes classes de precipitação externa. Entretanto, o sistema fixo exhibe tendência mais acentuada de ocorrência de valores acima ou abaixo da  $P_i$  média da coleta, em comparação ao sistema móvel. Em função disso, a metodologia com rotação dos instrumentos coletores pode mostrar-se mais adequada para o monitoramento, ao longo do tempo; resultando em valores de  $P_i$  mais representativos.

O melhor entendimento da variabilidade de  $P_i$  e de sua estabilidade temporal, em relação às características climáticas e da vegetação, possibilitará a melhor compreensão da hidrologia florestal e dos processos hidrológicos em florestas de mata Atlântica, bem como a melhoria dos processos de modelagem. Para propósitos de modelagem, sugere-se que a estimativa da interceptação nesse bioma seja realizada a partir do monitoramento da  $P_i$  e não apenas calculada por equações empíricas, já que os modelos em geral subestimam as perdas por interceptação, ainda mais para a condição brasileira, em que o clima e principalmente a vegetação são muito variáveis.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, R. F.; DIAS, H. C. T.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. C.; GARCIA, F. N. M. Avaliação da precipitação efetiva de um fragmento de mata atlântica em diferentes estágios de regeneração no município de viçosa, MG. *Rev. Ambiente Água*, v. 2, n. 1, p. 83-93, 2007.
- ARCOVA, F. C. F.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - São Paulo. *Rev. Árvore*, v. 27, n. 2, p. 257-262, 2003.
- BAUMHARDT, E.; MAZIERO, E.; SILVA, A. S.; ANTOLIN, A. T.; SÁ, Y. R. V.; ÁVILA, C. B.; CRUZ, J. C.; MULLER, I.; SILVA, J. C. M. Intensidade de amostragem de interceptômetros em microbacia florestada para validação dos valores de interceptação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, São Paulo. Anais... Porto Alegre: SBRH, 2009. CD-ROM.
- BRAUMAN, K. A.; FREYBERG, D. L.; DAILY, G. C. Forest structure influences on rainfall partitioning and cloud interception: A comparison of native forest sites in Kona, Hawai'i. *Agric. Forest Meteorol.*, v. 150, n. 2, p. 265-275, Feb. 2010.
- BULCOCK, H. H.; JEWITT, G. P. W. Field data collection and analysis of canopy and litter interception in commercial forest plantations in the KwaZulu-Natal Midlands, South Africa. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 16, n. 10, p. 3717-3728, Oct. 2012.
- CARLYLE-MOSES, D. E.; LAUREANO, J. S. F.; PRICE, A. G. Throughfall and throughfall spatial variability in Madroan oak forest communities of northeastern Mexico. *J. Hydrol.*, v. 297, n. 1-4, p. 124-135, Sept. 2004.
- CHAFFE, P. L. B.; KOBAYAMA, M.; YAMASHIKI, Y.; TAKARA, K. Is interception information important for rainfall-runoff modeling?. *Annu. J. Hydraulic Eng.*, v. 54, p. 73-78, Feb. 2010.
- CROCKFORD, R. H.; RICHARDSON, D. P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow, and interception: effect of forest type, ground cover, and climate. *Hydrol. Process.*, v. 14, n. 16-17, p. 2903-2920, Nov.-Dec. 2000.
- CUARTAS, L. A.; TOMASELLA, J.; NOBRE, A. D.; HODNETT, M. G.; WATERLOO, M. J.; MÚNERA, J. C. Interception water-partitioning dynamics for a pristine rainforest in Central Amazonia: Marked differences between normal and dry years. *Agric. For. Meteorol.*, v. 145, n. 1-2, p. 69-83, July 2007.
- CZIKOWSKY, M. J.; FITZJARRALD, D. R. Detecting rainfall interception in an Amazonian rain forest with eddy flux measurements. *J. Hydrol.*, v. 377, n. 1-2, p. 92-105, Oct. 2009.
- DEGUCHI, A.; HATTORIA, A. S.; SHIGEAKI, A.; PARK, H.-T. The influence of seasonal changes in canopy structure on interception loss: Application of the revised Gash model. *J. Hydrol.*, v. 318, n. 1-4, p. 80-102, Mar. 2006.
- DINIZ, A. R.; PEREIRA, M. G.; BALIEIRO, F. C.; MACHADO, D. L.; MENEZES, C. E. G. Precipitação e aporte de nutrientes em diferentes estágios Sucessionais de floresta atlântica, Pinheiral - RJ. *Ciênc. Florestal*, v. 23, n. 3, p. 389-399, jul.-set. 2013.
- DUNKERLEY, D. A new method for determining the throughfall fraction and throughfall depth in vegetation canopies. *J. Hydrol.*, v. 385, n. 1-4, p. 65-75, May 2010.
- FATHIZADEH, O.; ATTAROD, P.; KEIM, R. F. STEIN, A.; AMIRI, G. Z.; ASGHAR, A. Spatial heterogeneity and temporal stability of throughfall under individual *Quercus brantii* trees. *Hydrol. Process.*, v. 28, n. 3, p. 1124-1136, Jan. 2014.
- FELTRIN, R. M.; PAIVA, J. B. D. de; PAIVA, E. M. C. D. de; BELING, F. A. Lysimeter soil water balance evaluation for an experiment developed in the Southern Brazilian Atlantic Forest region. *Hydrol. Process.*, v. 25, n. 15, p. 2321-2328, July 2011.
- GERMER, S.; EISENBEER, H.; MORAES, J. M. Throughfall and temporal trends of rainfall redistribution in an open tropical rainforest, south-western Amazonia (Rondonia, Brazil). *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 10, n. 3, p. 383-393, Jun. 2006.
- GIGLIO, J. N.; KOBAYAMA, M. Interceptação da Chuva: Uma Revisão com Ênfase no Monitoramento em Florestas Brasileiras. *RBRH: revista brasileira de recursos hídricos*, v. 18, n. 2, p. 297-317, abr./jun. 2013.
- HELVEY, J. D.; PATRIC, J. H. Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods of eastern United States. *Water Resour. Res.*, v. 1, n. 2, p. 193-206, June 1965.
- HOLWERDA, F.; SCATENA, F.; BRUIJNZEEL, L. A. Throughfall in a Puerto Rican lower Montane rain forest: a comparison of sampling strategies. *J. Hydrol.*, v. 327, p. 592-602, 2006.
- KEIM, R. F.; SKAUGSET, A. E.; WEILER, M. Temporal persistence of spatial patterns in throughfall. *J. Hydrol.*, v. 314, n. 1-4, p. 263-274, 2005.
- KIMMINS, J. P. Some statistical aspects of sampling throughfall precipitation in nutrient cycling studies in British Columbian coastal forests. *Ecology*, v. 54, n. 5, p. 1008-1019, Sept. 1973.
- LIVESLEY, S. J.; BAUDINETTE, B.; GLOVER, D. Rainfall interception and stemflow by eucalypt street trees—The impacts of canopy density and bark type. *Urban For. Urban Greening*, v. 13, n. 1, p. 192-197, 2014.
- LLOYD, C. R.; MARQUES, A. O. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in amazonian rainforest. *Agric. For. Meteorol.*, v. 42, n. 1, p. 63-73, Jan. 1988.



- MORENO, J. A. *Clima do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961.
- MOURA, A. E. S. S.; CORREA, M. M.; SILVA, E. R.; FERREIRA, R. L. C.; FIGUEIREDO, A. C.; POSSAS, J. M. C. Interceptação das chuvas em um fragmento de floresta da mata atlântica na bacia do Prata, Recife, PE. *Rev. Árvore*, v. 33, n. 3, p. 461-469, maio/jun. 2009.
- MOURA, A. E. S. S.; CORREA, M. M.; SILVA, E. R.; LIMA, G. S.; SENA, J. R.; FIGUEIREDO, A. C. 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, out./dez. 2012.
- OLIVEIRA JUNIOR, J. C.; DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da mata atlântica. *Rev. Árvore*, v. 29, n. 1, p. 9-15, jan./fev. 2005.
- RAAT, K. J.; DRAAIJERS, G. P. J.; SCHAAP, M. G.; TIETEMA, A.; VERSTRATEN, J. M. Spatial variability of throughfall water and chemistry and forest floor water content in a Douglas fir forest stand. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 6, n. 3, p. 363-374, 2002.
- RODRIGO, A.; AVILA, A. Influence of sampling size in the estimation of mean throughfall in two Mediterranean holm oak. *J. Hydrol.*, v. 243, n. 3-4, p. 216-227, Mar. 2001.
- SATO, A. M.; AVELAR, A. S.; NETTO, A. L. C. Spatial variability and temporal stability of throughfall in a eucalyptus plantation in the hilly lowlands of southeastern Brazil. *Hydrol. Process.*, v. 25, n. 12, p. 1910-1923, June 2011.
- SAVENIJE, H. H. G. The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. *Hydrol. Process.*, v. 18, n. 8, p. 1507-1511, June 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, 2009.
- SCHUME, H.; JOST, G.; KATZENSTEINER, K. Spatio-temporal analysis of the soil water content in a mixed Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.)—European beech (*Fagus sylvatica* L.) stand. *Geoderma*, v. 112, n. 3-4, p. 273-287, Mar.-Apr. 2003.
- SRAJ, M.; BRILLY, M.; MIKOS, M. Rainfall interception by two deciduous Mediterranean forests of contrasting stature in Slovenia. *Agric. For. Meteorol.*, v. 148, n. 1, p. 121-134, Jan. 2008.
- STAELENS, J.; SCHRIJVER, A. D.; VERHEYEN, K.; VERHOEST, N. E. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: influence of foliation, rain event characteristics, and meteorology. *Hydrol. Process.*, v. 22, n. 1, p. 33-45, Jan. 2008.
- STAELENS, J.; SCHRIJVER, A. D.; VERHEYEN, K.; VERHOEST, N. E. C. Spatial variability and temporal stability of throughfall water under a dominant beech (*Fagus sylvatica* L.) tree in relationship to canopy cover. *J. Hydrol.*, v. 330, n. 3-4, p. 651-662, Nov. 2006.
- THOMAZ, E. L. Avaliação de interceptação e precipitação interna em capoeira e Floresta secundária em Guarapuava—PR. *Geografia*, v. 14, n. 1, p. 47-60, jan./jun. 2005.
- TOGASHI, H. F.; MONTEZUMA, R. C. M.; LEITE, A. F. Precipitação incidente e fluxo de atravessamento das chuvas em três estágios sucessionais de floresta atlântica no maciço da Pedra Branca, Rio de Janeiro. *Rev. Árvore*, v. 36, n. 5, p. 907-917, set./out. 2012.
- VIEIRA, C. P.; PALMIER, L. R. Medida e Modelagem da Interceptação da Chuva em uma Área Florestada na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. *RBRH: revista brasileira de recursos hídricos*, v. 11, n. 3, p. 101-112, jun./set. 2006.
- WULLAERT, H.; POHLERT, T.; BOY, J.; VALAREZO, C.; WILCKE, W. Spatial throughfall heterogeneity in a montane rain forest in Ecuador: Extent, temporal stability and drivers. *J. Hydrol.*, v. 377, n. 1-2, p. 71-79, Oct. 2009.
- ZIEGLER, A. D.; GIAMBELLUCA, T. W.; NULLET, M. A.; SUTHERLAND, R. A.; TANTASARIN, C.; VOGLER, J.; NEGISHI, J. N. Throughfall in an evergreen-dominated forest stand in northern Thailand: Comparison of mobile and stationary methods. *Agric. For. Meteorol.*, v. 149, n. 2, p. 373-384, Feb. 2009.
- ZIMMERMANN, A.; GERMER, S.; NEILL, C.; KRUSCHE, A. V.; ELSENBEEER, H. Spatiotemporal patterns of throughfall and solute deposition in an open tropical rain forest. *J. Hydrol.*, v. 360, n. 1, p. 87-102, Apr. 2008.
- ZIMMERMANN, A.; WILCKE, W.; ELSENBEEER, H. Spatial and temporal patterns of throughfall quantity and quality in a tropical montane forest in Ecuador. *J. Hydrol.*, v. 343, n. 1-2, p. 80-96, Sept. 2007.
- ZIMMERMANN, B.; PAPRITZ, A.; ELSENBEEER, H. Asymmetric response to disturbance and recovery: Changes of soil permeability under forest-pasture-forest transitions. *Geoderma*, v. 159, n. 1-2, p. 209-215, Oct. 2010.
- ZIMMERMANN, B.; ZIMMERMANN, A.; SCHECKENBACH, H.; SCHMID, L. T.; HALL, J. S.; BREUGEL, M. V. Changes in rainfall interception along a secondary forest succession gradient in lowland Panama. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 17, n. 11, p. 4659-4670, Nov. 2013.

### **Contribuição dos autores:**

Vanessa Sari: Desenvolvimento do trabalho experimental, responsável pela coleta e análises realizadas a partir dos dados monitorados. Desenvolveu a pesquisa bibliográfica, a estruturação e a redação do material apresentado nesse artigo.

Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva (In memoriam): Professor orientador do trabalho experimental e intelectual, originado a partir da dissertação de mestrado da 1ª autora. Ofereceu importantes contribuições intelectuais para a concepção e a realização da pesquisa, cujos resultados são apresentados nesse artigo.

João Batista Dias de Paiva: Ofereceu importantes contribuições intelectuais para a realização da pesquisa experimental e para as análises realizadas a partir dos dados obtidos, cujos resultados são apresentados nesse artigo. Contribuiu para a estruturação e a redação desse artigo.