

## DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA CHUVA INTERNA EM UMA PARCELA DE MATA ATLÂNTICA NA ZONA COSTEIRA DO SUL DO BRASIL

João Henrique Macedo Sá <sup>1\*</sup> & Pedro Luiz Borges Chaffe <sup>2</sup> & Debora Yumi de Oliveira <sup>3</sup> & Henrique de Melo Lisboa <sup>4</sup>

**Resumo** – A distribuição espacial e temporal da chuva interna ( $Tf$ ) na floresta é influenciada por fatores meteorológicos e biológicos. A redistribuição espacial da precipitação pela copa das árvores tem potenciais efeitos sobre os processos biológicos dentro da floresta. Devido a essa grande variação espacial as medições da  $Tf$  em florestas tropicais são mais propensas a erros de amostragem. A área de estudo está localizada no sul da Ilha de Santa Catarina e pertence a uma área de preservação permanente de Mata Atlântica. A área é completamente coberta por Floresta Ombrófila Densa (FOD). O objetivo proposto foi de investigar a  $Tf$  em uma parcela coberta por Floresta Ombrófila Densa. O monitoramento da chuva externa ( $P$ ) foi realizado com um pluviômetro instalado fora da floresta. Dezessetes pluviômetros foram instalados dentro da parcela para o monitoramento da  $Tf$ . O período de monitoramento foi o ano de 2016. A chuva externa foi de 1603,8 mm tendo 180 dias sem chuva. A maior precipitação ocorrida nesse ano foi de 123 mm em 12 de Março. A  $Tf$  variou entre 40 e 80 % da  $P$  e foi considerada heterogênea nessa parcela. Existe uma persistência significativa nos pontos de monitoramento.

**Palavras-Chave** – Floresta Ombrófila Densa; Chuva Interna.

## SPATIAL AND TEMPORAL PATTERNS OF THROUGHFALL IN A COASTAL ATLANTIC FOREST PLOT IN SOUTHERN BRAZIL

**Abstract** – The spatial and temporal distribution of throughfall ( $Tf$ ) in the forest is influenced by meteorological and biological factors. The spatial redistribution of rainfall by the canopy of trees has potential effects on biological processes within the forest. Due to this large spatial variation, the measurements of  $Tf$  in tropical forests are more prone to sampling errors. The study area is located in the south of the Island of Santa Catarina and belongs to an area of permanent preservation of the Atlantic Forest. The area is completely covered by Dense Ombrophilous Forest (FOD). The objective was to investigate the  $Tf$  in plot covered by Ombrophilous Dense Forest. The rainfall monitoring ( $P$ ) was performed with a rain gauge installed outside the forest. Seventeen rain gauges were installed within the plot to monitor  $Tf$ . The monitoring period was the year 2016. The rainfall was 1603.8 mm with 180 days without rain. The highest rainfall occurred in that year was 123 mm on March 12.  $Tf$  varied between 40 and 80% of the external rainfall and was considered heterogeneous in this plot. There is significant persistence at the monitoring points.

**Keywords** – Dense Ombrophilous Forest; Throughfall.

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – PPGEA, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, joao.h.sa@posgrad.ufsc.br

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, pedro.chaffe@ufsc.br.

<sup>3</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – PPGEA, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, debora.ydo@gmail.com

<sup>4</sup> Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, h.lisboa@ufsc.br

\* Autor Correspondente.

## 1 INTRODUÇÃO

A chuva que chega ao solo e contribuirá efetivamente para o escoamento não é a chuva total, mas sim a chuva total descontada da perda por interceptação (chuva interna + escoamento pelo tronco). A chuva interna ( $T_f$ ) e o escoamento pelo tronco ( $S_f$ ) dependem de fatores relacionados tanto com a vegetação quanto com as condições climáticas nas quais a floresta está inserida (David *et al.*, 2005; Brutsaert, 2005).

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 e Jewitt, 2010; Herbst *et al.*, 2008; Toba e Ohta, 2005). ii) características da vegetação: tipo, orientação, altura e densidade da vegetação, capacidade de armazenamento, grau de desenvolvimento da planta, características de descascamento, presença/ ausência de líquenes e fungos, padrões de ramificação da copa e ângulo de inclinação dos ramos (Germer *et al.*, 2006; Keim *et al.*, 2005; Pypker *et al.*, 2005; Rahmani *et al.*, 2011; Staelens *et al.*, 2008); e iii) período/ estação, particularmente para aquelas regiões com ocorrência de períodos chuvosos e alguma estação chuvosa bem definida (Deguchi *et al.*, 2006; Herbst *et al.*, 2008; Mululo Sato *et al.*, 2011). Devido a essa grande distribuição espacial as medições da chuva interna em florestas tropicais são mais propensas a erros de amostragem, principalmente caso se limitem a um número de medidores (Zimmermann *et al.*, 2016).

A redistribuição espacial da  $T_f$  pela copa das árvores tem potenciais efeitos sobre os processos biológicos dentro da floresta. Por exemplo, ao influenciar a distribuição das raízes finas no solo (Ford e Deans, 1978), é susceptível de afetar o uso da água pelas árvores. Além disso, quantidades elevadas de escoamento pelo tronco canalizado 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 (Falkengren-Grerup, 1989).

A variabilidade espacial da  $T_f$  tem efeitos sobre a distribuição de umidade do solo, um parâmetro que afeta a decomposição (Jonard *et al.*, 2008) e nitrificação em solos florestais. Além disso, uma compreensão detalhada do processo de redistribuição das chuvas na floresta é de primordial importância para estudos sobre deposição atmosférica em tais ecossistemas (André *et al.*, 2008; Zirlewagen e von Wilpert, 2001).

Os estudos sobre o processo de interceptação em florestas nativas brasileiras foram realizados predominantemente na região Amazônica e na Mata Atlântica (Giglio e Kobiyama, 2013). 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 8,4 a 20,6%, a chuva que atravessa a copa como chuva interna ( $T_f$ ) varia de 47,6 a 97,4% (Giglio e Kobiyama, 2013).

O trabalho tem como objetivo investigar a chuva interna ( $T_f$ ) em uma parcelar coberta por Floresta Ombrófila Densa. Portanto oferece informações sobre a influência da Floresta de Mata Atlântica na redistribuição da chuva interna, tais como: a heterogeneidade espacial e temporal da chuva interna.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Área de estudo

A Lagoa do Peri está localizada ao sul da Ilha de Santa Catarina, situada a 27° 44' de latitude Sul e 48° 31" de longitude oeste (Figura 1), e pertence a uma área de preservação permanente de Mata Atlântica (Silva *et al.*, 2014). A Lagoa é o principal manancial de água doce da ilha, aproximadamente 5,7 km<sup>2</sup> de espelho d'água (Hennemann e Petrucio, 2014; Silva *et al.*, 2014). A área é rodeada por morros cobertos por Floresta Ombrófila Densa e uma restinga típica de vegetação litorânea, que a mantém separada do Oceano Atlântico.

O clima na Bacia do Peri é considerado do tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen, significa que a mesotérmico úmido sem estação seca definida e com verão quente, com distribuição de chuvas mais ou menos regular ao longo do ano, porém com uma concentração relativamente maior nos meses de verão e um pouco menor no inverno. A média anual das precipitações fica em torno de 1.500 mm e a temperatura média anual é de 20,4°C com amplitude térmica anual pequena, devido a influência do mar (Hennemann e Petrucio, 2014). O mar também influencia na umidade relativa do ar média de 80 %, sendo mais elevado no inverno. Os ventos predominantes sopram do quadrante norte (≈37%) associados à massa de ar tropical atlântica, seguidos pelos ventos do quadrante Sudeste (≈17%) e Sul (≈16%) e que são mais velozes com rajadas de até 80 Km/h (Cecca, 1997; Cabral, 1999).

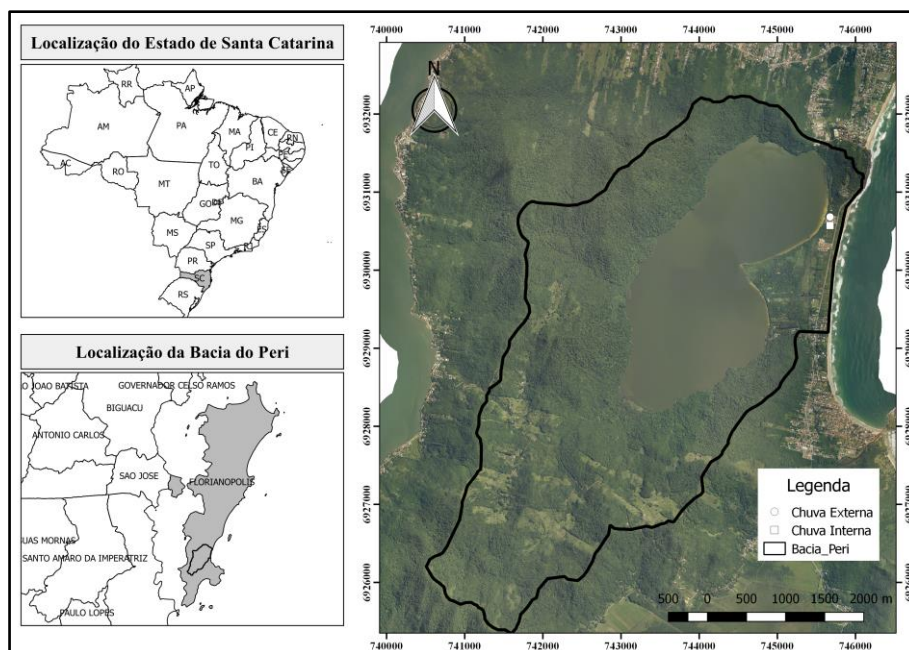


Figura 1 – Mapa de localização da bacia da Lagoa do Peri e dos pontos de monitoramento.

### 2.2 Monitoramento

A chuva externa e a chuva interna foram monitoradas utilizando pluviógrafos e pluviômetros. O pluviógrafo da chuva externa (Figura 2a) instalado na bacia tem uma configuração para registrar os dados a cada 1 minutos, possui diâmetro de abertura de 20 cm e resolução de 0,24 mm.

O monitoramento da chuva interna foi dividido em 2 partes, uma utilizando 17 pluviômetros distribuídos pela parcela (Figura 2b) e outra utilizando uma calha de PVC. A calha de PVC tem 3 metros de comprimento e 0,10 m de largura e foi conectada a um galão de 30 litros (Figura 2c).

O monitoramento dos pluviômetros foi dividido em períodos, de duração igual ao intervalo entre uma chuva e outra. Na maioria das vezes o monitoramento acontecia um dia após o evento terminar, se o evento ocorresse no fim de semana o monitoramento era feito na próxima segunda-feira. A data de coleta de dados de cada período coincide com a data do fim do período com o início do próximo período. No mapa da Figura 2 é demonstrado a distribuição dos 17 pluviômetros na área parcela. Também pode ser observado a distribuição de árvores. Nessa parcela foram observados 160 árvores tendo uma variação do diâmetro do tronco de 0,5 a 50 cm.

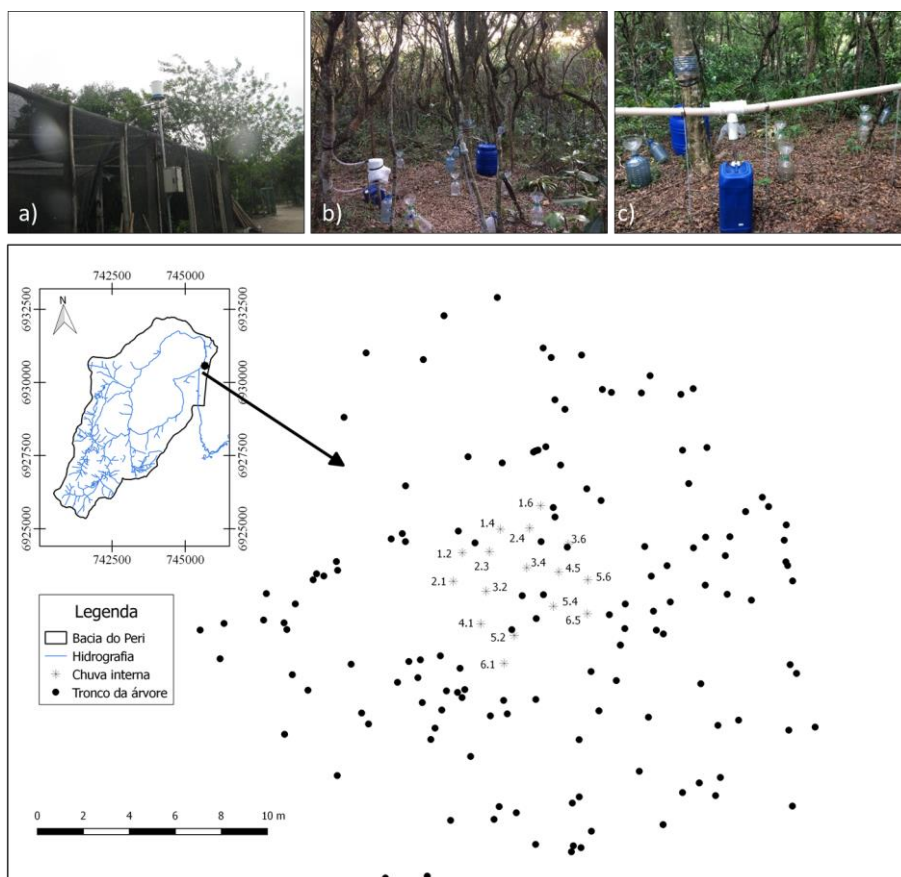


Figura 2 – Fotografias dos equipamentos de monitoramento: (a) Chuva externa; (b) distribuição dos pluviômetros de chuva interna; (c) Calha de PVC da chuva interna e Mapa de distribuição dos pluviômetros de chuva interna com a distribuição de árvore na área de monitoramento.

### 3 RESULTADOS

No ano de 2016 a chuva externa na bacia hidrográfica da Lagoa do Peri foi de 1603,8 mm. O total de dias sem chuva neste ano foi de 180 dias. O dia com a maior precipitação observada foi em 12 de março, com 123 milímetros. Observa-se na Figura 3a que a relação entre a chuva interna e chuva externa aumenta a dispersão entre os pontos. O maior valor de chuva externa foi de 180 mm, e o de chuva interna foi de 500 em uma chuva de aproximadamente 60 mm. Para eventos acima de 100 mm, não foi possível monitorar no ponto 1.2, porque nesse ponto tem um caminho preferencial da água, que é bastante influenciado pela árvore 1.

Pode observar na Figura 3b que a chuva interna não é homogênea, pois tem a presença da vegetação que influencia na distribuição da chuva interna, tornando assim mais heterogênea. O ponto 1.2 obteve valores maiores que a chuva externa, pode ser dizer que existe um caminho preferencial ou afunilamento nesse ponto. O ponto 1.2 está bem próximo do tronco 1 (Figura 2),



que tem um escoamento pelo tronco bastante elevado, e com isso, tem bastante influência na distribuição da chuva interna.

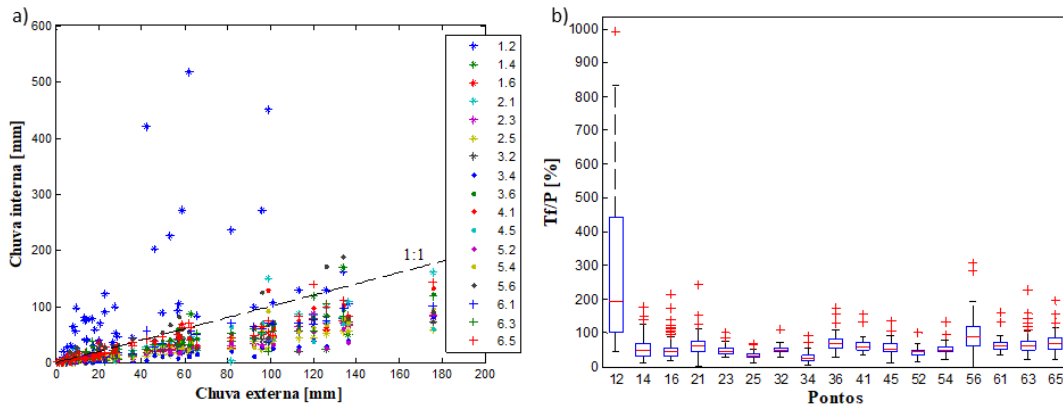


Figura 3 – Relação entre a chuva externa e chuva interna para os 17 pluviômetros. (a) relação da chuva interna [mm] com a chuva externa [mm]; (b) Boxplot da proporção da chuva interna em relação a chuva externa de cada ponto.

Na Figura 4a observa-se uma relação linear entre a chuva externa e a média da chuva interna dos 17 coletores. Quanto maior a chuva externa, maior a média da chuva interna. Também pode observar que chuva acima de 20 mm a amplitude e a variância da chuva interna são maiores e se distanciando da relação 1:1, provavelmente reflete na saturação gradual do dossel e a fração resultante da água da chuva que atingi o solo sem atingir o dossel (Carlyle-Moses *et al.*, 2004). Para eventos menores, o coeficiente de chuva interna livre ( $p$ ) é o componente mais importante, uma vez que uma grande proporção de precipitação é interceptada pelo dossel.

Os valores médios da chuva interna diminuem com o aumento da chuva externa (Figura 4b). Nos eventos pequenos ocorrer que a média da chuva interna na parcela é maior que a chuva externa, foi o que acontece no evento 9,46 mm de chuva externa e a proporção da chuva interna foi de 195 %. Nesse evento a chuva interna no ponto 1.2 foi de 1000%, e somente em três pontos 2.5, 3.4 e 5.2 que tiveram valores abaixo de 100%. A chuva interna variou entre 40 e 80 % da chuva externa, ficando entres os valores encontrados na literatura de Floresta Ombrófila Densa.

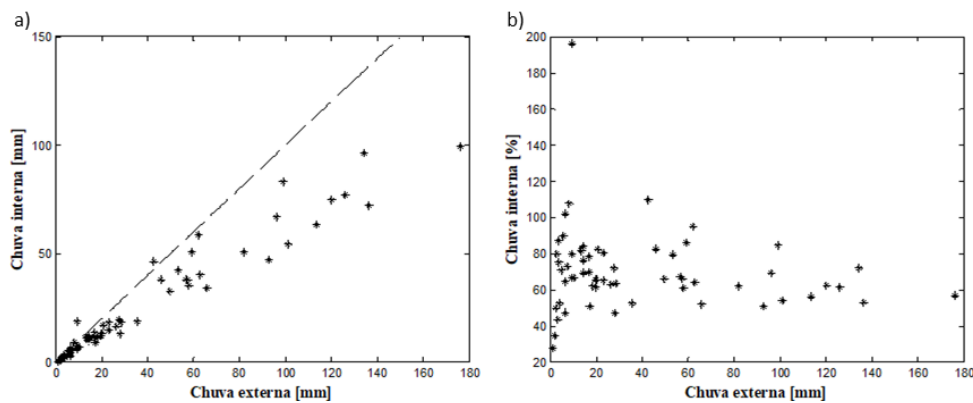


Figura 4 – Relação entre a chuva externa e a média da chuva interna: (a) relação da  $P$  e  $Tf$  em mm. A linha tracejada representa a proporção 1:1; (b) relação da proporção da  $Tf$  em relação a  $P$ .

O tamanho da amostra tem uma influência considerável na estimativa da chuva interna em uma determinada parcela (Voss *et al.*, 2016; Zimmermann *et al.*, 2016). Geralmente, com o aumento do número de coletores, menores os erros na estimativa da chuva interna. Podemos observar na Figura 5a que a variação da média é maior utilizando até 6 coletores, mas para mais de 14 coletores a variação da média é pequena.

Na Figura 5b observar-se os pontos de persistência significativa ( $T_f$  extremos) os pontos que ficaram acima ( $>0$ ) e abaixo ( $<0$ ) da média da parcela. Podemos verificar que a variação dos pontos 1.6, 1.4, 6.5 e 2.1 são maiores que nos outros pontos. O ponto 2.1 obteve a maioria dos valores acima da média da parcela, e o ponto 3.4 que obteve a maioria dos valores abaixo da média, representando que esses dois pontos tem uma persistência significativa.

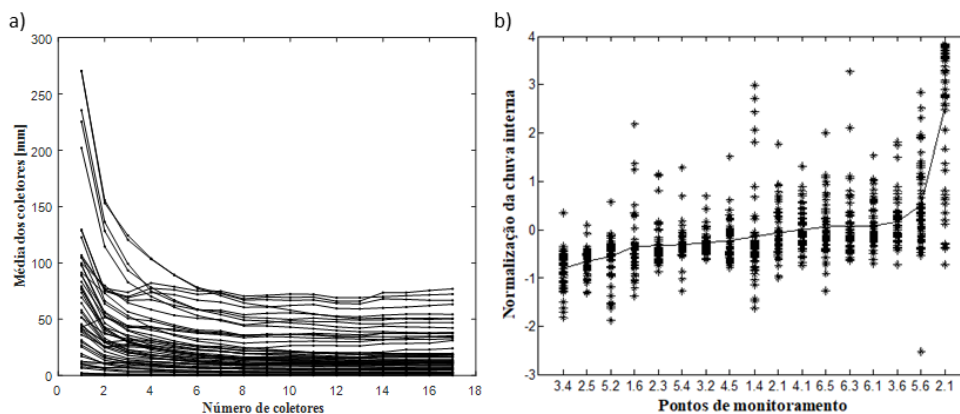


Figura 5 – Variação da chuva interna: (a) variação da média em relação ao tamanho de números de coletores; (b) estabilidade temporal de todos os coletores ao longo do monitoramento.

A variação espacial da chuva interna é geralmente considerada como uma consequência da chuva externa que interage com a copa. As interações entre o dossel e a chuva externa são relativamente grandes quando os eventos de chuva têm uma pequena quantidade, resultando em um maior grau de variabilidade espacial de passagem, enquanto as interações tornam-se menores para os maiores eventos de chuva em que o dossel está saturado (Germer *et al.*, 2006; Manfroi *et al.*, 2006; Shachnovich *et al.*, 2008; e Gerrits *et al.*, 2010). A distribuição espacial da chuva interna é heterogênea, conforme observado na Figura 6. Fazendo a interpolação da chuva interna média observa-se que o ponto 1.2 apresenta um valor acima de 100% da chuva externa, conforme demonstrado na Figura 5b que nesse ponto tem uma persistência temporal, obtendo os maiores valores da parcela.

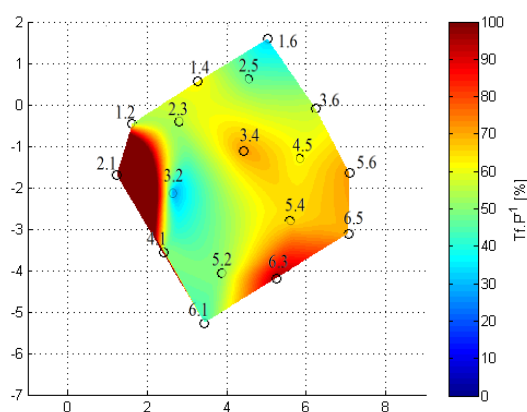


Figura 6 – Representação espacial da distribuição da chuva interna.

## 4 CONCLUSÃO

No presente trabalho foi realizado o monitoramento da chuva interna em uma parcela coberta por Floresta Ombrófila Densa, em todo o ano de 2016. A chuva externa foi de 1603,8 mm tendo 180 dias sem chuva. A maior precipitação ocorrida nesse ano foi de 123 mm em 12 de Março.

A chuva interna variou entre 40 e 80 % da chuva externa e obteve uma relação com a densidade da chuva externa. A chuva interna foi considerada heterogênea nessa parcela e pelo o tamanho da amostragem de pontos dos pluviômetros foi considerado razoável. Também foi observado que existe uma persistência significativa nos pontos de monitoramento.

Este estudo analisou somente uma parcela, recomendam-se que sejam avaliadas outras parcelas. Também sugere-se que sejam realizados análises de alguns parâmetros da copa, assim como análise do escoamento pelo tronco. Como nesse estudo foi avaliado somente o ano de 2016, recomenda-se estudos de mais longo prazo para verificar se existiria influência da sazonalidade.

## 5 REFERENCIAS

ANDRÉ, F.; JONARD, M.; PONETTE, Q. (2008). Precipitation water storage capacity in a temperate mixed oak-beech canopy. *Hydrol. Process.* v.22, p. 4130-4141.

BRUTSAERT, W. (2005). *Hydrology: An Introduction*. Cambridge University Press, New York. 605 p.

BULCOCK, H. H.; JEWITT, G. P. W. (2010). 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., p. 3717-3728.

CABRAL, L. O. (1999). *Bacia da Lagoa do Peri: sobre as dimensões da paisagem e seu valor*. Florianópolis, SC: UFSC, Dissertação de Mestrado em Geografia, Utilização e Conservação de Recursos Naturais, p. 236.

CECCA - CENTRO DE ESTUDOS CULTURA E CIDADANIA. (1997). *Unidades de conservação e áreas protegidas da Ilha de Santa Catarina: caracterização e legislação*. Florianópolis, SC: 160 p.

DAVID, J.; VALENTE, F.; GASH, J. (2005). Evaporation of intercepted rainfall. In: Anderson, M. (Ed.), *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. John Wiley and Sons. Ltd., pp. 627-634.

DEGUCHI, A.; HATTORI, S.; PARK, H.T. (2006). The influence of seasonal changes in canopy structure on interception loss: Application of the revised Gash Model. *J. hydrol.* 318, p. 80-102.

FALKENGREN-GRERUP, U., (1989). Effect of stemflow on beech forest soils and vegetation in southern Sweden. *J. Appl. Ecol.* 26, 341-352.

FORD, E.D., DEANS, J.D., (1978). The effects of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young sitka spruce plantation. *J. App. Ecol.* 15, 905-917.

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

GERRITS, A.M.J., PFISTER, L., SAVENIJE, H.H.G., (2010). Spatial and temporal variability of canopy and forest floor interception in a beech forest. *Hydrol. Processes* 24, 3011-3025

GIGLIO, J. N.; KOBAYAMA, M. (2013). Interceptação da chuva: uma revisão com ênfase no monitoramento em florestas brasileiras. *Rev. Bras. de Rec. Híd.*, v. 18, n. 2, p. 297-317.

HENNEMANN, M.C e PETRUCIO, M.M. (2014). Seasonal phytoplankton response to increased temperature and phosphorus inputs in a freshwater coastal lagoon, Southern Brazil: a microcosm bioassay. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v 22, p. 295-305.

HERBST, M.; ROSIER, P.; MCNEIL, D.D.; HARDING, R.; GOWING, D.J. (2008). Seasonal variability of interception evaporation from the canopy of a mixed deciduous forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 148, p. 1655–1667.

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

JONARD, M.; ANDRÉ, F.; PONETTE, Q. (2008). Tree species mediated effects on leaf litter dynamics in pure and mixed stands of oak and beech. *Can. J. Forest Res.* v. 38, p. 528–538.

PYPKER, T.G., BOND, B.J., LINK, T.E., MARKS, D., UNSWORTH, M.H. (2005). 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* 130, p. 113–129.

RAHMANI, R., SADODDIN, A., GHORBANI, S. (2011). Measuring and modelling precipitation components in an Oriental beech stand of the Hyrcanian region, Iran. *J. Hydro.* 404 (3-4), 294-303.

SHACHNOVICH Y, BERLINER PR, BAR P. (2008). Rainfall interception and spatial distribution of throughfall in a pine forest planted in an arid zone. *Journal of Hydrology* 349: 168–177.

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

STAELENS, J., DE SCHRIJVER, A., VERHEYEN, K., VERHOEST, N.E.C. (2008). Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: influence of foliation, rain event characteristics, and meteorology. *Hydro. Proc.* 22, 33-45.

MANFROI, O. J., KURAJI, K., SUZUKI, M., TANAKA, N., KUME, T., NAKAGAWA, M., KUMAGAI, T., NAKASHIZUKA, T., (2006). 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* 329, 329–349.

MULULO SATO, A., AVELAR, A.S., NETTO, A. L.C. (2011), Spatial variability and temporal stability of throughfall in a eucalyptus plantation in the hilly lowlands of southeastern Brazil. *Hydrol. Process.*, 25: 1910–1923.

TOBA T. e OHTA T. (2005). An observational study of the factors that influence interception loss in boreal and temperate forests. *Journal of Hydrology* 313: 208-220.

ZIMMERMANN, A., VOSS, S., METZGER, J.C., HILDEBRANDT, A., ZIMMERMANN, B. (2016). Capturing heterogeneity: The role of a study area's extent for estimating mean throughfall. *Journal of Hydrology* 542: 781-789.

ZIRLEWAGEN, D., VON WILPERT, K. (2001). Modeling water and ion fluxes in a highly structured, mixed-species stand. *Forest Ecol. Manage.* 143, 27–37.