

SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DE INTERCEPTAÇÃO

Joana Nery Giglio¹ & Aline de Almeida Mota² & Masato Kobiyama³*

Resumo – Para estudar a interceptação em florestas é preciso medir a chuva total, a chuva interna, o escoamento de tronco e, por vezes, a interceptação pela serrapilheira. Os estudos de interceptação nas florestas heterogêneas brasileiras são onerosos devido à grande quantidade de pluviômetros necessária, e muitas vezes têm negligenciado a medição do escoamento de tronco. Esse trabalho apresenta um sistema de monitoramento de interceptação de baixo custo, com pluviômetros para medição de chuva total e chuva interna, bem como coletores de escoamento de tronco para árvores com diâmetro à altura do peito a partir de 2 cm. Os pluviômetros aqui descritos apresentaram desempenho equivalente ao de um pluviógrafo comercial para até 100 mm de chuva acumulada. Dois modelos de coletor de escoamento de tronco são descritos e algumas dificuldades do monitoramento desse processo são comentadas.

Palavras-Chave – Monitoramento; chuva interna; escoamento de tronco.

LOW COST SYSTEM FOR INTERCEPTION MONITORING

Abstract – Studying the interception in forests requires the measurement of rainfall, throughfall, stemflow, and litter interception in some occasions. The studies on interception in Brazilian heterogeneous forests are expensive due to the necessity of a large number of raingauges. Also, these studies have been neglecting the stemflow monitoring many times. This paper presents a low cost system for interception monitoring. It counts with raingauges for the rainfall and throughfall measurement and stemflow collectors to trees with chest height diameter as from 2 cm. The used raingauge showed equivalent performance to a comercial raingauge for measurements of accumulated rainfall up to 100 mm. Two stemflow-collector models are described and some monitoring troubles of this process are commented.

Keywords – Monitoring; throughfall; stemflow.

INTRODUÇÃO

As atividades de monitoramento hidrológico subsidiaram o surgimento e avanço dos principais conceitos da hidrologia (Nace, 1974). No Brasil, o monitoramento hidrológico teve como principal agente o setor de geração de energia elétrica, voltado para a medição de chuva e vazão (Goldenfum, 2001). As iniciativas de monitoramento de interceptação são recentes, realizadas por universidades e institutos de pesquisa, frequentemente em parceria com o setor de silvicultura. Esses estudos estão concentrados na Mata Atlântica ou, quando decorrentes de iniciativas internacionais, na Amazônia. Nos outros biomas brasileiros, os dados de interceptação são inexistentes ou muito raros (Giglio & Kobiyama, 2013).

¹ Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, mestrado pela Universidade Federal de Santa Catarina, joana_n_g@yahoo.com.br

² Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Chapecó, aline.mota@uffs.edu.br

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, masato.kobiyama@ufrgs.br

Para estudar a interceptação (I) em florestas é preciso medir minimamente a chuva total (P), a chuva interna (Tf) e o escoamento de tronco (Sf); em florestas com acúmulo de serrapilheira, é recomendado medir também a interceptação por esse componente (Is). Assim, a estimativa da chuva interceptada é assim calculada:

$$I = P - Tf - Sf + Is \quad (1)$$

A chuva interna pode ser medida com os pluviômetros tradicionalmente utilizados para medir a chuva total. Entretanto, a medição da chuva interna precisa de mais coletores, o que a encarece. Não há uma recomendação universal de arranjo mínimo de pluviômetros para a medição de chuva interna, já que a variabilidade desse processo responde significativamente à variabilidade da vegetação. Lloyd & Marques (1988) estudaram a influência da quantidade e distribuição dos pluviômetros no erro padrão das medidas de chuva interna. Concluíram que a relocação aleatória e periódica dos instrumentos reduz o erro das medidas, e possibilita o uso de menos pluviômetros para chegar a um acurácia desejada. Ainda assim, na área experimental de 400 m² de floresta amazônica, precisaram de um mínimo de 10 pluviômetros, em 35 arranjos aleatórios, para alcançar erro padrão de 5%.

Muitos estudos brasileiros têm negligenciado o escoamento de tronco, ou por considerá-lo pouco significativo, ou pela dificuldade de medição. São raros os trabalhos que descrevem o método de coleta desse processo. Aliada à lacuna na literatura, a heterogeneidade de diâmetros, formatos, texturas e de disposição no espaço dos troncos nas florestas brasileiras torna a concepção e instalação de um sistema de escoamento de tronco bastante desafiador. Soma-se a essa dificuldade inicial, o alto custo necessário para a instalação de pluviômetros padrões em quantidade suficiente para que o sistema seja representativo. Entretanto, os resultados já obtidos mostram que esse processo é altamente variável, e é responsável, tipicamente, por até 10% da redistribuição da chuva nas florestas brasileiras bem desenvolvidas (Giglio & Kobiyama, 2013); há registros de escoamento de tronco de até 40% da chuva total em florestas em estágio inicial de regeneração (Hölscher *et al.*, 1998); ainda, em ambientes áridos e semi-áridos, há registros de escoamento de tronco de até 45% da chuva total (Levia Jr. & Frost, 2003).

Neste sentido, é necessário viabilizar o monitoramento de interceptação com quantidade de coletores suficiente para adequadamente estudar esse processo nas vegetações mais heterogêneas. Portanto, o objetivo do presente trabalho é apresentar a descrição do sistema de monitoramento de interceptação de baixo custo instalado na bacia experimental do rio Araponga, no município de Rio Negrinho/SC. O sistema inclui pluviômetros para medição de chuva total e chuva interna, bem como coletores de escoamento de tronco para árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) a partir de 2 cm. Mais informações sobre a bacia encontram-se em Mota (2012), Giglio (2013), Sá *et al.* (2015), Sá *et al.* (2016), e Mota *et al.* (2017).

PLUVIÔMETROS PARA MEDIÇÃO DE CHUVA TOTAL E CHUVA INTERNA

Os pluviômetros foram construídos com garrafas de politereftalato de etileno (PET) de 5 litros (Figura 1). Cada dispositivo consiste de um funil, um recipiente de armazenamento e uma conexão com orifício de 1 cm de diâmetro. Para a construção de cada pluviômetro foram necessárias duas garrafas PET com tampa rosca, além de adesivo para PVC e massa adesiva epóxi. Uma das garrafas foi utilizada para a extração do funil. Deve-se recortar a garrafa em uma parte dela que exclua as irregularidades da superfície lateral da garrafa, para evitar acúmulo de água e sólidos. Preferencialmente em algum ponto com alguma marca, para que se possa reproduzir nas outras garrafas o mesmo plano de corte, e que se seja possível manter a mesma área de captação em todos

os pluviômetros. A segunda garrafa foi utilizada como recipiente de armazenamento, e foi mantida intacta, com a alça, para facilitar o manuseio durante a leitura do volume. As tampas foram utilizadas para confeccionar a conexão entre o funil e o recipiente. Foi necessário furar e extrair, do centro de cada tampa, um orifício de aproximadamente 1 cm de diâmetro. As tampas foram coladas uma à outra, com adesivo para PVC, pela face exterior, previamente lixada conforme instruções do adesivo. Sugere-se usar adesivo em excesso suficiente para que, quando as tampas são unidas e pressionadas, o excesso de adesivo forme um anel de vedação ao redor do orifício, sem obstruí-lo. Depois de coladas as tampas, com o adesivo já seco, a lateral da conexão foi envolvida com massa adesiva epóxi. Este acabamento, além de melhorar a vedação da conexão, garantiu a unidade das duas peças, evitando que durante o manuseio das tampas uma girasse contra outra, e descolassem.

Embora este trabalho tenha utilizado garrafas PET de 5 litros, pode-se utilizar outros tamanhos comerciais de garrafa (6 ou 10 litros, por exemplo) para aumentar a capacidade de armazenamento. A única ressalva é que as tampas devem ser intercambiáveis, para facilitar o manuseio no momento da leitura dos volumes e da manutenção. Para os funis, recomenda-se a utilização de garrafas do mesmo tamanho e marca, para que a área de coleta seja a mesma em todos os coletores.

É muito importante pensar o tamanho do orifício do funil para ser pequeno o suficiente para reduzir a evaporação e evitar o acesso de animais silvestres, e ao mesmo tempo, grande o suficiente para evitar entupimentos frequentes ou o represamento da água coletada. Salienta-se que no presente trabalho os pluviômetros foram instalados no interior de uma floresta de vegetação densa, em região de clima temperado. Essa situação implica em duas condições: (i) os pluviômetros não estavam expostos a insolação direta, mas abrigados na sombra das árvores e portanto, não estavam em condição de evaporação máxima; (ii) recebem muitas folhas caídas das árvores, além de musgos, insetos, e outros pequenos animais. Um orifício menor necessitaria de manutenção mais frequente para garantir o correto funcionamento do dispositivo. O tamanho do orifício deve ser adequado às condições de uso do pluviômetro. Em situações de manutenção diária, por exemplo, pode-se usar orifícios menores para reduzir ainda mais a influência da evaporação. No caso de manutenção pouco frequente, pode-se experimentar o uso de orifício maior, desde que as condições de evaporação permitam, e que não seja grande o suficiente para que pequenos animais silvestres possam usar o dispositivo para dessedentação.



Figura 1 – Pluviômetro construído de garrafas PET: (a) suporte com uma estaca e aro de alumínio; (b) suporte de três estacas; (c) visto de cima, com orifício a mostra.

Os pluviômetros foram instalados apoiados sobre o solo, com dois modelos alternativos de suporte: (i) três estacas de madeira fixadas no chão; ou (ii) aro de alumínio pregado a uma estaca de madeira fixada no chão. As duas formas de suporte permitem o fácil encaixe/desencaixe do pluviômetro, e funcionaram adequadamente em terrenos planos. Entretanto, observou-se que o modelo com o aro de alumínio não foi eficaz em terrenos acidentados, e muitas vezes o pluviômetro caiu, possivelmente arrastado pela força do escoamento superficial. É importante verificar frequentemente o nivelamento da boca do pluviômetro.

Comparação entre pluviômetro caseiro e pluviógrafo comercial

Para verificar se as medidas de chuva obtidas com os pluviômetros caseiros são confiáveis, um exemplar foi instalado ao lado de um pluviógrafo de balança *Waterlog* conectado a um *data logger*, alimentados por bateria e painel solar. O pluviógrafo tem abertura com diâmetro de 20 cm, resolução de 0,24 mm, e correção automática da chuva conforme a intensidade. A altura de chuva e a quantidade de basculadas são registradas a cada 5 minutos. Os instrumentos estão instalados na cabeceira da bacia do rio Araponga, na beira de uma estrada que coincide com o divisor de águas. As principais características dos dois instrumentos são apresentadas na Tabela 1. Durante dez meses (entre 15/02 e 20/12/2012) as leituras dos dois instrumentos foram coletadas: o pluviógrafo com registro a cada 5 minutos, e o pluviômetro com leitura a cada 15 dias, aproximadamente. As alturas acumuladas de chuva em cada período, obtidas com os dois instrumentos, foram comparadas (Figura 2). Até 100 mm de chuva, as medidas do pluviômetro e do pluviógrafo são equivalentes. A partir de um acúmulo de chuva de 100 mm começa a existir diferença entre as medidas dos diferentes instrumentos, ainda que muito pequena.

Tabela 1 – Principais características dos instrumentos coletores de chuva.

Instrumento	Área de captação	Registro	Intervalo de medição	Resolução	Altura da instalação
Pluviógrafo	314 cm ²	Automático	5 min	0,24 mm	1,5 m
Pluviômetro	195 cm ²	Manual	15 dias	0,10 mm	no chão

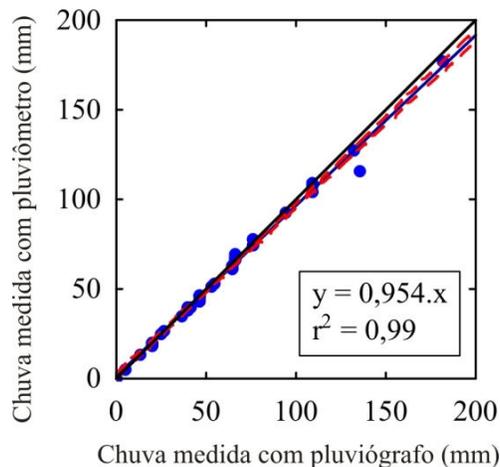


Figura 2 – Alturas acumuladas de chuva obtidas com pluviômetro caseiro (eixo y) e com pluviógrafo comercial (eixo x). As linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança de 95%. A linha 1:1 está em preto, com traço contínuo.

COLETORES DE ESCOAMENTO DE TRONCO

O coletor de escoamento de tronco consiste basicamente de um dispositivo coletor e direcionador do fluxo e um recipiente de armazenamento. Para coletar o fluxo escoado pelo tronco e direcioná-lo até o recipiente de armazenamento, foram utilizados dois tipos de coletores, de acordo com o DAP das árvores: (i) espirais de mangueira nas árvores com DAP superior a 10 cm; e (ii) colares nas árvores com diâmetro inferior.

Os espirais foram confeccionados com mangueiras de PVC (policloreto de vinila) transparente e flexível, de diâmetro 3/4" (≈ 2 cm). Essa mangueira foi escolhida por satisfazer as características necessárias: (a) diâmetro suficientemente grande para coletar o fluxo escoado pelo tronco, e suficientemente pequeno para não coletar a chuva interna; (b) flexibilidade suficiente para ser enrolada nos troncos, porém não excessiva a ponto de não manter a estrutura de canaleta após a instalação; (c) transparência, para permitir a verificação de entupimentos e vazamentos; e (d) consistência macia o suficiente para ser cortada com estilete.

Antes de instalar as mangueiras, estas receberam um corte no sentido longitudinal, a partir de uma das extremidades até o comprimento suficiente para dar uma volta e meia no tronco, em ângulo aproximado de 45° (Figura 3). As árvores foram parcialmente descascadas à altura do peito, para eliminar rugosidades e facilitar a instalação das mangueiras (Figura 4a). Então, as mangueiras cortadas foram pregadas nas árvores em forma de canaleta em espiral, com início na altura do peito e seguindo para baixo com aproximadamente 45° de inclinação, até completar 1,5 volta no tronco (Figura 3a e 4b). Na extremidade inferior da mangueira, um trecho excedente foi deixado sem o corte longitudinal para conduzir o fluxo até o interior do recipiente de armazenamento. Para finalizar a instalação das mangueiras, aplicou-se silicone nas frestas entre a mangueira e o tronco (Figura 4c e 4d).

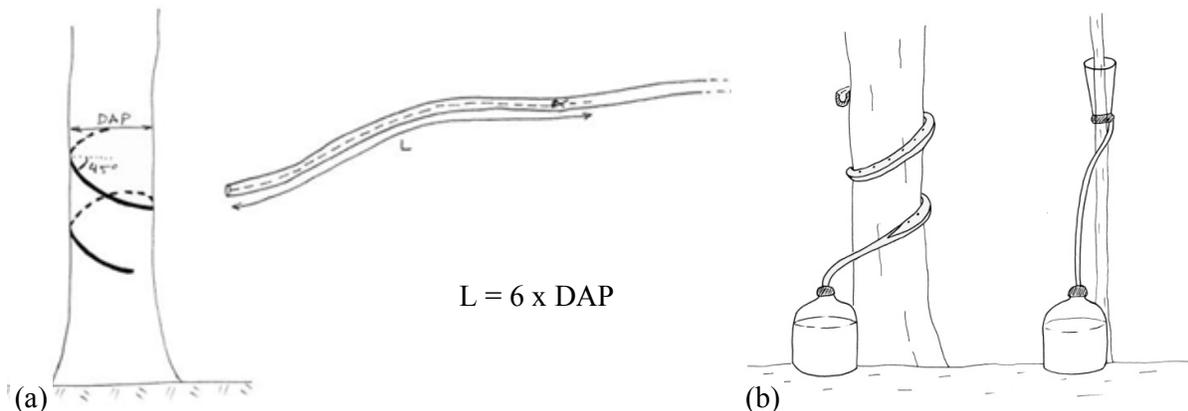


Figura 3 – Sistema de coleta de escoamento de tronco. (a) Esquema da instalação; (b) Coletores tipo espiral (esq.) e tipo colar (dir.). Adaptado de Giglio (2013).

Nas árvores com DAP inferior a 10 cm, o uso de coletores do tipo espiral de mangueira não foi possível porque não foi encontrada uma mangueira que atendesse os requisitos mínimos mencionados. As únicas mangueiras suficientemente flexíveis para serem enroladas nessas pequenas árvores tinham diâmetro pequeno demais. Como alternativa, tentou-se instalar um coletor do tipo espiral moldado com massa adesiva epóxi. Entretanto, a execução se mostrou mais demorada e onerosa que o esperado, e o resultado não foi satisfatório. A solução encontrada foi confeccionar um coletor do tipo colar, com uma mangueira acoplada para conduzir a água coletada ao recipiente armazenador. Os colares foram construídos com tiras extraídas de garrafas PET

(politereftalato de etileno). Para direcionar o fluxo, foram utilizadas mangueiras semelhantes às dos espirais, mas com 1/2" ($\approx 1,3$ cm) de diâmetro.



Figura 4 – Instalação dos coletores do tipo espiral. (a) Preparação do tronco; (b) fixação da mangueira; (c) e (d) aplicação de silicone; (e) e (f) coletor instalado; (g) confecção da tampa com massa adesiva epóxi.

Cada tira foi extraída da porção livre de texturas da garrafa, com 5 a 10 cm de largura, e comprimento suficiente para envolver o tronco com sobra. Cada tira foi posicionada em torno do tronco, na forma de tronco de cone, deixando espaço suficiente na base inferior para encaixar a mangueira, e na base superior, um vão livre de cerca de 1 cm de largura. As extremidades sobrepostas, previamente lixadas, foram coladas com adesivo para PVC. Com a cola já seca, a mangueira foi encaixada e aplicou-se massa adesiva epóxi para vedar o fundo e fixar o conjunto colar + mangueira no tronco. Essa etapa foi cuidadosamente executada para evitar a criação de depressões, obstáculos ao fluxo, pontos de infiltração ou vazamento de água (Figura 5).

Para conectar perfeitamente as mangueiras do sistema coletor aos recipientes de armazenamento, três condições precisavam ser satisfeitas: (a) impedir vazamentos; (b) impedir infiltrações; (c) conferir praticidade à abertura e fechamento do recipiente. Para satisfazer a última condição, optou-se por utilizar a própria tampa de cada garrafa. Em cada tampa fez-se um orifício com diâmetro pouco maior que o da mangueira correspondente. Então a mangueira foi encaixada no orifício da tampa, e fixada com massa adesiva epóxi (Figura 5d). Assim, as condições (a) e (b) também foram satisfeitas. Finalmente, o sistema coletor pode ser conectado ao recipiente de armazenamento. A principal dificuldade quanto ao recipiente de armazenamento é a escolha de seu volume. Neste trabalho, garrafas PET de 10 L foram utilizadas para armazenar o escoamento de tronco durante períodos de cerca de 14 a 16 dias.



Figura 5 – Instalação dos coletores do tipo colar. (a) Aplicação da massa adesiva epóxi; (b) moldando a massa epóxi; (c) coletor instalado; (d) detalhe do coletor.

Em uma das árvores, esse volume não foi suficiente para armazenar o volume escoado pelo tronco durante 15 dias, em períodos chuvosos. A árvore é uma maria-mole, cuja copa tem 44 m² de área (projeção horizontal), e DAP de 17,5 cm, extravasou os 10 L em períodos com chuva acumulada de 64 mm e 76 mm; entretanto a mesma árvore registrou apenas 4,7 L de escoamento de tronco em período com 66 mm de chuva acumulada. Recomenda-se antes de iniciar o monitoramento, estimar o volume de escoamento de tronco de cada árvore com dados de chuva intensa da região, considerando a área de coleta de cada árvore, para uma estimativa inicial do volume do recipiente. Ainda assim, como a captação de chuva pelas árvores ainda é um fenômeno pouco conhecido, essa estimativa pode subestimar ou superestimar o volume do escoamento. Então sugere-se iniciar o monitoramento de escoamento de tronco com recipientes provisórios, contando com a possibilidade de substituir os recipientes por outros de tamanho mais adequado. A Tabela 2 apresenta os volumes escoados pelos troncos durante em cinco períodos medidos.

Tabela 2 – Volumes escoados pelo tronco de diferentes árvores, em períodos com diferentes volumes acumulados de chuva. Árvores organizadas em ordem crescente de tamanho de copa.

Características da árvore			Chuva acumulada no período				
DAP (cm)	Área copa (m ²)	Volume escoado pelo tronco (L)	40 mm	64 mm	66 mm	77 mm	110 mm
1,9	0,4		0,3	2,1	1,0	2,0	2,0
2,9	1,2		0,2	1,2	0,7	1,1	2,0
16,7	8,9		1,2	4,0	2,4	4,3	–
14,3	17,9		0,8	1,8	1,3	3,1	–
13,1	18,3		1,1	2,6	–	2,6	4,1
8,4	36,0		0,09	0,6	0,4	0,8	0,8
21,6	36,8		1,5	4,8	–	6,9	8,5
23,2	40,3		0,8	5,4	1,9	7,4	6,7
17,5	44,1		2,5	> 10	4,2	> 10	> 10
31,8	64,7	–	5,6	–	5,9	8,4	

CONSIDERAÇÕES SOBRE A FREQUÊNCIA DO MONITORAMENTO

No trabalho de Giglio (2013) a chuva interna e o escoamento de tronco foram medidos com frequência quinzenal. O trabalho de leitura e manutenção de 14 coletores de chuva interna e 10 coletores de escoamento de tronco, realizado por duas pessoas, tomava cerca de 8 horas de trabalho. A frequência foi justificada pela distância do laboratório até a bacia experimental e o custo do acesso à área de estudo, além da pequena quantidade de pessoas trabalhando no projeto. A frequência ideal de leitura é diária, ou horária, porque a interceptação é o processo de rápida retroalimentação de umidade da floresta para a atmosfera, e se dá no intervalo de tempo de cerca de um dia (Savenije, 2004). O presente trabalho, entretanto, recomenda que a decisão da quantidade de coletores a serem instalados e a frequência de leitura considere o número de pessoas disponível para a leitura e manutenção dos mesmos, bem como o tempo disponível para esse trabalho.

REFERÊNCIAS

- GIGLIO, J.N. (2013). *Interceptação da chuva em pequena bacia experimental coberta por Floresta Ombrófila Mista*. 194p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- GIGLIO, J.N.; KOBIYAMA, M. (2013). Interceptação da chuva: uma revisão com ênfase no monitoramento em florestas brasileiras. *Rev. Bras. Recur. Híd.* 18(2), pp.297–317.
- GOLDENFUM, J.A. (2001). Pequenas bacias hidrológicas: Conceitos básicos. In: PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D. (orgs.) *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre: Editora ABRH, p.3–13.
- HÖLSCHER, D.; SÁ, T.D. A.; MÖLLER, R.F.; DENICH, M.; FÖLSTER, H. (1998). Rainfall partitioning and related hydrochemical fluxes in a diverse and in a mono specific (*Phenakospermumguyannense*) secondary vegetation stand in eastern Amazonia. *Oecologia* 114(2), pp. 251–257.
- MOTA, A.A. (2012). *Tempo de concentração em pequena bacia experimental*. 131p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- MOTA, A.A.; GRISON, F.; GIGLIO, J.N.; KOBIYAMA, M. (2017). Instalação de uma pequena bacia experimental florestal: estudo de caso da bacia do Rio Araçuaia. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 22(1), pp. 73–80.
- NACE, R.L. (1974). General evolution of the concept of the hydrological cycle. In: *Three Centuries of Scientific Hydrology*. UNESCO-World Meteorological Organization. International Association of Hydrological Sciences, Paris, p. 40–51.
- SÁ, J.H.M.; CHAFFE, P.L.B.; OLIVEIRA, D.Y. (2015) Análise comparativa dos modelos de GASH e de Rutter para a estimativa da interceptação da chuva por floresta ombrófila mista. *Rev. Bras. Recur. Híd.* 20(4), pp. 1008–1018.
- SÁ, J.H.M.; CHAFFE, P.L.B.; QUILLET, M.J.J. (2016). The influence of the interception process on the precipitation quality in a catchment covered by subtropical Atlantic Forest. *Rev. Bras. Recur. Híd.* 21(4), pp. 742–751.
- SAVENIJE, H.H.G. (2004). The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. *Hydrol. Process.* 18, pp.1507–1511.