

Análise da produção bibliográfica sobre hidrologia florestal no bioma amazônico

Rodrigo Guarany Santos Smith Neves⁽¹⁾,
Kelly Cristina Tonello⁽²⁾ e
Julieta Bramorski⁽³⁾

Data de submissão: 13/5/2020. Data de aprovação: 3/7/2020.

Resumo – A Amazônia é reconhecida como a maior floresta tropical do mundo, onde a floresta interage fortemente com a atmosfera, rios e lagos, exercendo significativa influência no clima local e global. Quantificar a influência da floresta sobre os processos hidrológicos que direta ou indiretamente influenciam o clima é de fundamental importância para os esforços de conservação. No sentido de identificar o perfil da produção científica relacionada à hidrologia florestal na Amazônia, foi realizada uma análise dos artigos publicados em periódicos científicos nos últimos 20 anos, em termos quantitativos, qualitativos e de origem da autoria, de forma a contribuir para o aprimoramento e a promoção de pesquisas futuras relacionados ao bioma. A base de dados utilizada para a realização das buscas foi o “Periódicos Capes”, e os termos de busca foram: Stemflow, Throughfall, Runoff, Interception, Water Balance, Hydrology. Foram selecionados apenas os trabalhos desenvolvidos no bioma amazônico. As buscas retornaram um total de 46 artigos, com média anual de 2,3 artigos publicados. Os artigos foram publicados em 28 periódicos distintos, sendo 25 internacionais e somente 3 nacionais. Para os periódicos internacionais, os fatores de impacto foram, em todos os casos, bastante expressivos. Constatou-se que 70% dos trabalhos são resultado de cooperações entre institutos de pesquisa/ensino nacionais e internacionais, bem como entre pesquisadores. Foi possível concluir que a produção bibliográfica na área de hidrologia florestal na Amazônia ainda é incipiente. Porém, os poucos artigos foram publicados, majoritariamente, em periódicos de alto impacto, evidenciando a relevância do tema para a comunidade científica internacional.

Palavras-chave: Bioma amazônico. Hidrologia florestal. Produção bibliográfica.

Analysis of bibliographic production about hydrology forest in the Amazon biome

Abstract – The Amazon is recognized as the largest tropical forest in the world, where the forest interacts strongly with the atmosphere, rivers and lakes, exerting a significant influence on the local and global climate. Quantifying the influence of the forest on the hydrological processes that directly or indirectly influence the climate is of fundamental importance for conservation efforts. In order to identify the profile of scientific production related to hydrology forest in the Amazon, it was carried out an analysis of the articles published in scientific journals in the last 20 years, in quantitative, qualitative and authoring origin terms, in order to contribute to the improvement and promotion of future research related to the biome. The database used to perform the searches was "Capes Periodicals" and the search terms were: Stemflow, Throughfall, Runoff, Interception, Water Balance, Hydrology. Only works developed in the Amazon biome were selected. The searches returned a total of 46 articles with an annual average of 2.3 published articles. The articles were published in 28 different journals, being 25

¹ Graduando em Ciências Biológicas na Faculdade Estácio Macapá. *smithrodrigo.ap@outlook.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9336-197X>.

² Prof.^a adjunto do Depto. Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, *Campus* Sorocaba - SP. *kellytonello@ufscar.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7920-6006>.

³ Prof.^a titular do Depto. Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Amapá - AP. *bramorski@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2783-5644>.

international and only 3 national. For the international journals, the impact factors were, in all cases, quite expressive. It was found that 70% of the works are the result of cooperation between national and international research/teaching institutes. It was possible to conclude that the bibliographic production on hydrology forest is still incipient. However, the few articles were published, mostly, in high impact journals, highlighting the relevance of the theme for the international scientific community.

Keywords: Amazon biome. Hydrology forest. Bibliographical production.

Introdução

A Amazônia é uma região tropical extensa, reconhecida como a maior floresta tropical do mundo, abundante em água, onde a floresta interage fortemente com a atmosfera, rios e lagos (LUIZÃO, 2007). Trata-se de um bioma heterogêneo, com alta diversidade biológica, abrigando desde áreas de cerrado e de savana até florestas densas, de planície, de terras altas e inundáveis. Em função de sua extensão, exerce significativa influência no clima local e global (NOBRE *et al.*, 2004), o que faz com que o desmatamento e a degradação florestal na Amazônia sejam o centro das discussões mundiais acerca das mudanças climáticas.

A atmosfera amazônica não é isolada da atmosfera global e interage fortemente com os continentes e oceanos próximos (ANDREAE *et al.*, 2001). A região recebe anualmente cerca de 2.200 mm de água através da precipitação, e aproximadamente 50% desse total retorna à atmosfera por meio de vapor d'água, via evapotranspiração, evidenciando o papel da vegetação. A cada ano a floresta transfere para a atmosfera – por meio da evaporação e da transpiração da vegetação – mais de sete trilhões de toneladas de água (NOBRE, 2014).

Essa umidade é uma importante fonte para o Centro, o Sudeste e o Sul do Brasil, assim como para o norte da Argentina, incluindo a bacia do Prata, contribuindo para a ocorrência de precipitação nessas regiões (SATYAMURTY *et al.*, 2013; ROCHA *et al.*, 2015).

Nos últimos anos, alguns trabalhos buscaram mensurar o impacto do desaparecimento ou da redução drástica da área das grandes florestas tropicais sobre o clima em diferentes partes do planeta (FEARNSIDE, 1995; COX *et al.*, 2000; COX *et al.*, 2004; BETTS *et al.*, 2004).

No estudo de uma bacia hidrográfica há uma estreita relação entre o ciclo hidrológico e a cobertura vegetal da área, interferindo no movimento hídrico das diversas etapas do sistema, inclusive nas transferências para atmosfera. Assim, quantificar a influência da floresta sobre os processos hidrológicos que direta ou indiretamente influenciam o clima é de fundamental importância para a construção de cenários através de modelos de simulação e, portanto, para os esforços de conservação.

Trabalhos experimentais, que envolvem coletas em campo, são onerosos e mobilizam grande número de pesquisadores, além da necessidade de estudos de longo prazo. Estima-se que na Amazônia as dificuldades sejam ainda maiores, visto a heterogeneidade dos ambientes que compõem o bioma, a extensão dele e a escassez de recurso humanos e financeiros.

No sentido de identificar o perfil da produção científica relacionada à hidrologia florestal na Amazônia, foi realizada uma análise dos artigos publicados em periódicos científicos nos últimos 20 anos, em termos quantitativos, qualitativos e de origem da autoria, de forma a contribuir para o aprimoramento e a promoção de pesquisas futuras relacionados ao bioma.

Material e métodos

Realizou-se uma revisão sistemática que coletou, selecionou e analisou os artigos publicados sobre o tema na base de dados “Periódicos Capes”. A revisão sistemática é uma metodologia utilizada para sintetizar a pesquisa disponível sobre o assunto estudado (DENYER; TRANFIELD 2009).

Os quesitos de pesquisa selecionados foram:

- Temporal: seleção de todos os artigos, nacionais e internacionais, dos últimos 20 anos (2000-2020 - abril);

- Descritores: os descritores primários consistiram nos seguintes termos - Stemflow (escoamento pelo tronco), Throughfall (precipitação interna), Runoff (escoamento superficial), Interception (interceptação), Water Balance (balanço hídrico), Hydrology (hidrologia). O descritor secundário utilizado foi o termo “Amazon Forest”;

- Posição: o critério para seleção dos artigos relacionados a partir dos descritores consistiu na menção dos termos descritores primários no título ou nas palavras-chave de cada artigo, com a verificação de que o trabalho foi realizado no bioma amazônico.

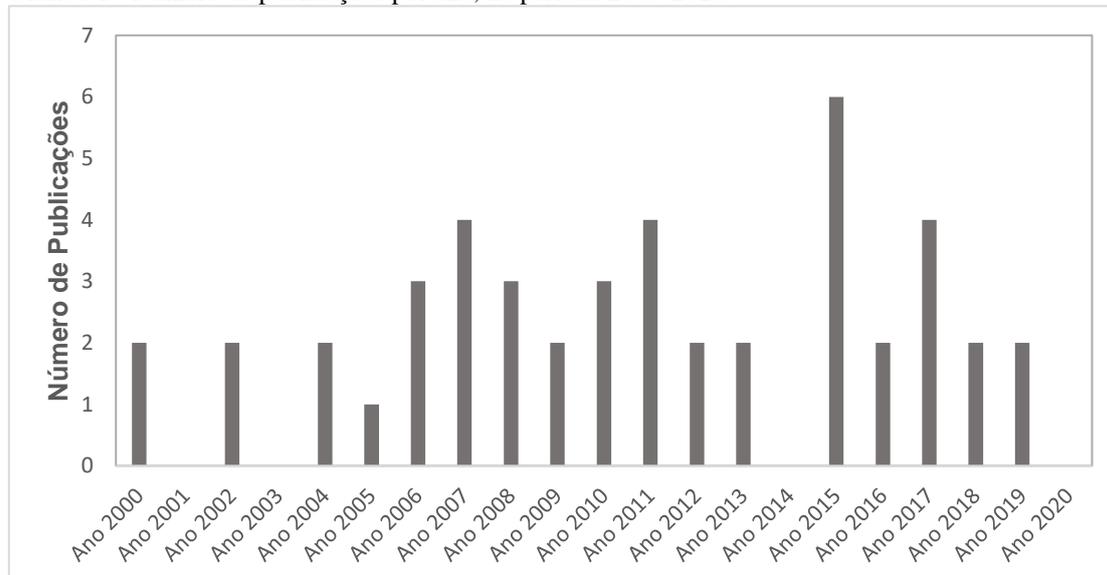
Cada um dos termos dos descritores primários foi consultado individualmente, mantendo-se o descritor secundário a todos os termos. Com isso foram selecionados artigos que possuem, ou no título ou nas palavras-chave, um ou mais termos.

Resultados e discussão

As buscas retornaram um total de 46 artigos (Gráfico 1), com média anual de 2,3 artigos publicados no período analisado. O ano de 2015 foi o mais produtivo, com 6 artigos publicados. Considerando a relevância do tema, pode-se afirmar que essa quantidade é baixa. Destaca-se que pesquisas de campo na Amazônia apresentam dificuldades intrínsecas à região, como os difíceis acessos nas áreas de floresta, as distâncias a serem percorridas, as condições das estradas de rodagem durante o regime de chuvas, a inconstância de financiamentos, a dificuldade para fixação de pesquisadores no local, as avarias constantes nos instrumentos de pesquisa, ocasionadas pela umidade e pelo calor, entre outras.

Kohlhepp (1989) já discutia os desafios para a pesquisa na Amazônia e pontuava que os projetos de pesquisa de longa duração, com equipes multidisciplinares e boas condições de trabalho, com financiamento contínuo assegurado, são necessários para fazer análises abrangentes da interação de causas e efeitos.

Gráfico 1 - Número de publicações por ano, no período 2000-2020.



Fonte: Os autores.

Os artigos foram publicados em 28 periódicos distintos, sendo 25 internacionais e 3 apenas nacionais (Tabela 1). O periódico “Journal of Hydrology” foi o que mais publicou, com 7 artigos nos últimos 20 anos, seguido do periódico “Hydrological Processes”, com 5 artigos, e do “Biogeochemistry”, com 4 artigos. O total de artigos internacionais foi 43, e nacionais, apenas 3.

Ao analisar os fatores de impacto das revistas (últimos 5 anos), verificou-se que para os periódicos internacionais esses valores foram, em todos os casos, bastante expressivos, variando entre 1.880 e 8.880, contrastando com os fatores de impacto das revistas nacionais, cujo valor mais alto foi 0.376. Analisar o fator de impacto dos periódicos é interessante para entender a relevância da publicação, já que o valor atribuído é baseado na quantidade de citações dos artigos publicados no periódico em outros artigos científicos. O fato de que 93% dos artigos publicados nos últimos 20 anos possuem altos fatores de impacto confirma a relevância do tema para a comunidade científica internacional.

Do total dos 46 artigos publicados, 70% são resultado de cooperações entre institutos de pesquisa/ensino nacionais e internacionais, bem como entre pesquisadores. Se analisados os artigos derivados de pesquisas exclusivamente internacionais, esse percentual é de 17%, e os de exclusivamente nacionais, 13%. Gama e Velho (2005) e IPEA (2018) destacam que a cooperação internacional do Brasil com demais países em ciência e tecnologia tem crescido a uma taxa significativa no mundo. De acordo com a Capes (2019), a cooperação internacional tem tido um papel relevante no desenvolvimento da pesquisa, do ensino e da inovação na pós-graduação.

Na Amazônia, especificamente, o interesse internacional é antigo, com expedições científicas estrangeiras para coleta de material e posterior classificação e análise datando de centenas de anos. Entre os fatores apontados para a cooperação internacional estão a disponibilidade de recursos das instituições estrangeiras e a capacitação científica dos pesquisadores, além da própria relevância da Amazônia enquanto objeto de pesquisa.

Tabela 1 - Número de publicações e fator de impacto dos diferentes periódicos científicos selecionados.

Nome do Periódico	Número de Artigos Publicados	Fator de Impacto (últimos 5 anos)
<i>Publicações Internacionais</i>		
Journal of Hydrology	7	4.938
Hydrological Processes	5	3.189
Biogeochemistry	4	3.950
Agricultural and Forest Meteorology	3	5.317
Forest Ecology and Management	2	3.601
Journal of Geophysical Research: Atmospheres	2	2.816
Water	2	2.721
Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences	1	7.205
Agriculture, Ecosystems and Environment	1	4.655
Science of the Total Environment	1	5.727
Journal of Environmental Management	1	4.962
Ecological Applications	1	4.378
Geoscientific Model Development	1	5.697
Conservation Biology	1	6.194
Journal of Environmental Economics and Management	1	4.556
Hydrological Sciences Journal	1	2.180
Land Degradation & Development	1	4.275
Vegetation History and Archaeobotany	1	2.523
New Phytologist	1	7.299
Geophysical Research Letters	1	4.580
Earth's Future	1	5.780
Scientific Drilling	1	1.870
Journal of South American Earth Sciences	1	2.097

Water Resources Research	1	4.140
Global Change Biology	1	8.880
Total	43	
<i>Publicações Nacionais</i>		
Floresta	1	-*
Revista Brasileira de Ciência do Solo	1	0.376
Revista Ambiente & Água	1	0.156
Total	3	

*não possui fator de impacto

Fonte: Os autores.

Analisados os termos de busca, verificou-se que, entre os 46 artigos publicados, 32 apresentaram apenas 1 dos termos de busca utilizados como descritor primário. Os demais artigos (14) apresentaram mais do que um dos termos no título ou nas palavras-chave.

Entre os artigos que se relacionam a apenas um dos termos de busca, ou seja, que são mais específicos, verifica-se que para os termos stemflow (escoamento pelo tronco) e interception (interceptação) apenas 1 artigo foi publicado para cada termo nos últimos 20 anos (Gráfico 2).

Carlyle-Moses *et al.* (2018), em uma busca recente da literatura, observam que a ciência hidrológica pode ter esquecido a importância de se pesquisar ou caracterizar o escoamento pelo tronco (stemflow).

Comumente, o escoamento pelo tronco constitui uma pequena parcela do total precipitado (entre 1 e 15%) (TUCCI, 2001; ARCOVA *et al.*, 2003; OLIVEIRA JÚNIOR, DIAS 2005; SARI *et al.*, 2006, LEVIA *et al.*, 2011; TONELLO *et al.*, 2014; BESSI *et al.*, 2018).

Além disso, sua medição em campo é trabalhosa, aumentando consideravelmente os custos de projeto. Com isso, essa fração é frequentemente desprezada nos estudos hidrológicos. No entanto, a importância dessa provisão de água para o chão florestal é significativa, tendo fundamental importância para muitas espécies da flora e para o ambiente (LORENZON, DIAS, TONELLO 2015).

Para algumas espécies o volume de água escoado pelo tronco pode estar diretamente relacionado à sua sobrevivência no ambiente, principalmente nos períodos mais secos do ano (LORENZON, 2011). Sabe-se que o escoamento pelo tronco desempenha um papel importante nos insumos de nutrientes para partes localizadas do solo da floresta, particularmente nas florestas tropicais, onde os solos são frequentemente baixos em nutrientes disponíveis (HERWITZ, 1986; DEZZEO, CHACÓN 2006; MACINNIS-NG *et al.*, 2012; TONELLO *et al.*, 2014).

Em relação aos estudos sobre interceptação, em geral, estes englobam a investigação dos volumes de escoamento pelo tronco e precipitação interna, sendo também um tema pouco abordado dentro do arcabouço científico produzido no bioma Amazônico nos últimos 20 anos.

A interceptação das chuvas pelo dossel da vegetação pode afetar o balanço hídrico de regiões florestadas densas e vastas, como a Amazônia. A chuva que retorna diretamente à atmosfera, em função da evaporação da água interceptada, pode representar um percentual significativo do total precipitado (IZÍDIO *et al.*, 2013).

Além disso, a interceptação pode influenciar a disponibilidade de água para o solo, contribuindo para fluxo preferencial e subsuperficial, bem como desenvolvimento e recarga do lençol freático (GERMER, 2013; TANAKA, 2011).

Em relação aos termos “Throughfall” (precipitação interna), “Runoff” (escoamento superficial) e “Water Balance”, estes, isoladamente, foram tema específico tratado em 6, 5 e 5 artigos respectivamente.

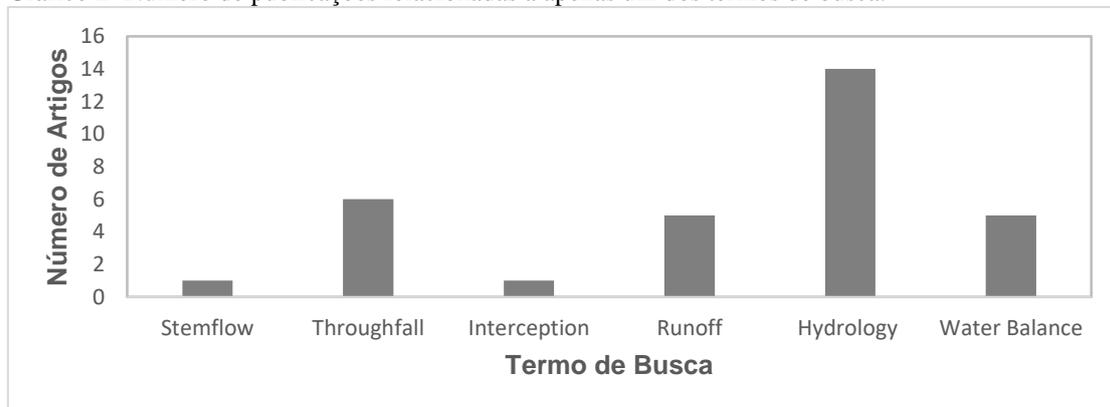
Throughfall, ou precipitação interna, representa a fração da chuva que não é interceptada pela vegetação e chega, de fato, ao piso florestal. Em florestas tropicais essa fração é

significativa, correspondendo a uma faixa entre 75% e 96% da precipitação total (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

No caso do termo “Runoff”, os artigos publicados referem-se a medidas indiretas, ou seja, nos canais d’água, sempre relacionados a mudanças de uso e cobertura do solo. Nenhum dos artigos se refere a medições diretas da formação de *runoff* no piso florestal, dentro de um contexto de balanço hídrico de ecossistemas florestais amazônicos. Esse fato reside nas dificuldades experimentais para a medição em campo dessa variável, já que requer a instalação de parcelas de monitoramento. Já o termo “Water Balance” trata de questões mais abrangentes, como mudanças climáticas e mudanças de uso e cobertura do solo.

O mesmo ocorre com o termo “Hydrology”, com 14 artigos se relacionando especificamente a ele, mas com temáticas mais abrangentes, enfocando principalmente os cursos d’água e o uso de modelos de predição.

Gráfico 2- Número de publicações relacionadas a apenas um dos termos de busca.



Fonte: Os autores.

Considerações finais

A produção bibliográfica na área de hidrologia florestal na Amazônia ainda é incipiente em termos quantitativos. Porém, os poucos artigos foram publicados, majoritariamente, em periódicos de alto impacto, evidenciando a relevância do tema para a comunidade científica internacional. Além disso, a maior parte dos artigos são resultado de cooperações internacionais entre Brasil e instituições de outros países.

Apesar das dificuldades relatadas para a realização de pesquisas de longo prazo em hidrologia florestal em uma região de tamanha complexidade como a Amazônia, os esforços se justificam, visto o enorme volume de água envolvido no ciclo hidrológico dessa região, sua influência nos climas local, regional e global e as fortes pressões antrópicas atuantes na floresta.

Referências

ANDREAE, M. O., MERLET, P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. **Global Biogeochem. Cycles**, [s. l.], v. 15, p. 955- 966, 2001.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 257-262, 2003.

BESSI, D.; TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T. Rainfall partitioning in fragments of cerrado vegetation at different stages of conduction of natural regeneration. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 42, p. 1-11, 2018.

- BETTS, R.A. *et al.* The role of ecosystem-atmosphere interactions in simulated Amazonian precipitation decrease and forest dieback under global climate warming. **Theoretical and Applied Climatology**, Austria, v. 78, p. 157-175, 2004.
- CAPES. **InfoCAPES**: Cooperação Internacional. [Brasília, CAPES], 10. ed., ago. 2019. Disponível em: <https://www.capes.gov.br/infocapes/010-agosto-2019/>. Acesso em: 13 maio 2020.
- CARLYLE-MOSES, D. E. *et al.* Expressing stemflow commensurate with its ecohydrological importance. **Adv. Water Resour**, [s. l.], v. 121, p. 472-479, 2018.
- COX, P. M. *et al.* Amazonian dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. **Theoretical and Applied Climatology**, Austria v. 78, p 137-156, 2004.
- COX, P. M. *et al.* Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. **Nature**, [s. l.], v. 408, p. 184-187, 2000.
- DENYER, D.; TRANFIELD, D. Producing a systematic review. *In*: BUCHANAN, D. A.; BRYMAN, A. (ed.). **The Sage handbook of organizational research methods**. Sage Publications, 2009. p. 671-689.
- DEZZEO, N.; CHACÓN, N. Nutrient fluxes in incident rainfall, throughfall, and stemflow in adjacent primary and secondary forests of the Gran Sabana, southern Venezuela. **For. Ecol. Manage**, [s. l.], v. 234, p. 218–226, 2006.
- IPEA. **Cooperação brasileira para o desenvolvimento internacional**: levantamento 2014 - 2016. Brasília: IPEA: ABC, 2018. 315 p.
- FEARNSIDE, P. M. Potential impacts of climatic change on natural forests and forestry in Brazilian Amazonia. **For. Ecol. Manage**, [s. l.], v. 78 (1-3), p. 51-70, 1995.
- GAMA, W.; VELHO, L. A cooperação científica internacional na Amazônia. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 19 (54), p. 205-224, 2005.
- IZÍDIO, N. S. *et al.* Interceptação da chuva pela vegetação da caatinga em microbacia no semiárido cearense. **Revista Agro@ambiente On-line**, [s. l.]. v. 7, p. 44-52, 2013.
- GERMER, S. Development of near-surface perched water tables during natural and artificial stemflow generation by babassu palms. **J. Hydrol**, [s. l.]. v. 507, p. 262–272, 2013.
- HERWITZ, S.R. Infiltration-excess caused by Stemflow in a cyclone-prone tropical rainforest. **Earth Surf. Process. Landforms**, [s. l.]. v. 11, p. 401-412, 1986.
- KOHLHEPP, G. Desafios à Ciência e às Políticas de Desenvolvimento Regional. Reflexões e Recomendações sobre o Futuro da Amazônia. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 3, n. 7, p. 183-199, 1990.
- LORENZON, A. S. **Processos hidrológicos em um fragmento de floresta estacional semidecidual no município de Viçosa, MG**. 2011. 116 p. Dissertação (mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

LORENZON, A. S.; DIAS, H. C. T.; TONELLO, K. C. Escoamento da água da chuva pelo tronco das árvores em uma floresta estacional semidecidual. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 423-430, 2015.

LUIZÃO, F.J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 59, p. 31-36, 2007.

MACINNIS-NG, C.M.O. *et al.* Rainfall partitioning into throughfall and stemflow and associated nutrient fluxes: land use impacts in a lower montane tropical region of Panama. **Biogeochemistry**, [s. l.], v. 111, p. 661-676, 2012.

NOBRE A. D. **O Futuro Climático da Amazônia**: relatório de avaliação científica. São José dos Campos, SP: ARA: CCST-INPE: INPA, 2014. 42 p.

NOBRE, A. D. *et al.* Impact of climate change scenarios for 2100 on the biomes of South America. In: First International - CLIVAR Conference, 2004, Baltimore, USA. **Anais [...]**. Batimore, USA, 21-24, 2004.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C. de, DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da mata atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, p. 9-15; 2005.

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

ROCHA, V.M. *et al.* Reciclagem de precipitação na Amazônia: um estudo de revisão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 59-70, 2015.

SARI, V. *et al.* Interceptação da chuva em diferentes formações florestais na região sul do Brasil. **RBRH**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 65-79, 2016.

SATYAMURTY, P. *et al.* Moisture source for the Amazon Basin: a study of contrasting years. **Theoretical and Applied Climatology**, [s. l.], v. 111, n. 1-2, p. 195-209, 2013.

TANAKA T. Effects of the Canopy Hydrologic Flux on Groundwater. In: LEVIA, D. F.; CARLYLE-MOSES, D. E; TANAKA T. (ed.). **Forest Hydrology and Biogeochemistry: synthesis of past research and future directions**. **Ecological Series** [s. l.], 216, Springer, Dordrecht, p. 499-518, 2011.

TONELLO, K.C. *et al.* Net precipitation in different forest fragments of Ipanema National Forest. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n.2, p. 383-390, 2014.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: UFGRS Editora: ABRH, 2001. 943 p.