

Artigo de Pesquisa**DINÂMICA DA PRECIPITAÇÃO TOTAL E INTERNA EM PERFIL FLORESTAL NA AMAZÔNIA CENTRAL****Dynamics of total and internal precipitation in a forest profile in the central Amazon**

Ana Rosa Tundis Vital Trigo¹, Adriano Nobre Arcos², Anthony Lopes³, Sávio José Filgueiras Ferreira⁴, Maria Terezinha Ferreira Monteiro⁵, Márcio Luiz da Silva⁶

¹ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA/CODAM, Laboratório de Hidrologia – Projeto IETÉ. Manaus, Brasil. E-mail. artvitalt@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-7029-9894>

² Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA/CODAM, Laboratório de Hidrologia – Projeto IETÉ/Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – LBA. Manaus, Brasil. E-mail. adriano.bionobre@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9509-3283>

³ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA/CODAM, Laboratório de Hidrologia – Projeto IETÉ. Manaus, Brasil. E-mail. antholopes@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0005-9842-5537>

⁴ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA/CODAM, Laboratório de Hidrologia – Projeto IETÉ/Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – LBA. Manaus, Brasil. E-mail. saviojferreira@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-9688-1700>

⁵ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA/CODAM, Projeto IETÉ. Manaus, Brasil. E-mail. mtmont.10@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-2071-1785>

⁶ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA/CODAM, Laboratório de Hidrogeologia – Projeto IETÉ. Manaus, Brasil. E-mail. marciols44@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3775-7133>

Recebido em 29/03/2023 e aceito em 28/12/2023

RESUMO: O objetivo desse estudo foi quantificar e avaliar a distribuição da precipitação total e interna e determinar a interceptação no ecossistema florestal. O presente trabalho foi realizado na Reserva Biológica do Cuieiras, pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – RBC/INPA entre junho de 2021 a dezembro de 2022. Os pluviômetros para captação da precipitação interna foram instalados em regiões florestais denominadas platô, encosta, baixio, e foram instalados pluviômetros em duas torres localizadas no platô e baixio para captação da precipitação total. O processo de interceptação é extremamente importante na hidrologia de uma área, resultando em perdas de água que de outra forma chegaria ao solo e/ou respondendo com a introdução de consideráveis quantidades de massa de vapor de água na atmosfera, as quais através de sua reciclagem atuam no equilíbrio hídrico e climático região. A precipitação interna atingiu o valor de 71,4%, 76,2% e 77,2% e uma

interceptação de 28,5%, 23,8% e 22,8%, respectivamente, para as florestas de baixo, encosta e platô, da altura total de chuva verificada no período. O volume de chuva entre as áreas não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$).

Palavras-chave: Chuva; Reserva Biológica do Cuieiras; ZF2.

ABSTRACT: This study aimed to quantify and evaluate the distribution of total and internal precipitation and determine interception in the forest ecosystem. The study was carried out in the Cuieiras Biological Reserve, belonging to the National Institute of Amazonian Research – RBC/INPA between June 2021 and December 2022. The collectors for capturing internal precipitation were installed in forest regions called: plateau, slope, lowland, and collectors were installed in two towers located on the plateau and lowland to capture total precipitation. The interception process is extremely important in the hydrology of an area, resulting in water losses that would otherwise reach the soil and/or responding with the introduction of considerable mass quantities of water vapor into the atmosphere, which through its recycling act on the region's water and climate balance. The internal precipitation consumed the value of 71.4%, 76.2%, and 77.2% and an interception of 28.5%, 23.8%, and 22.8%, respectively, for the valley, slope, and plateau forests. The volume of rainfall between the areas did not differ significantly ($p > 0.05$).

Keywords: Rain; Cuieiras Biological Reserve; ZF2.

INTRODUÇÃO

A floresta amazônica constitui-se no maior ecossistema florestal do planeta e reconhecida por sua exuberância, biodiversidade e recursos hídricos. Aliado à sua representatividade, existe o interesse e necessidade crescente do estudo de seu comportamento hidrológico. Inserida na maior bacia hidrográfica do planeta é conhecida mundialmente por sua floresta tropical e por sua alta pluviosidade. Segundo Forti e Nordemann (1991), a floresta tropical pluvial possui grande biomassa por unidade de área, maior variedade de espécies em relação a outras florestas e vigorosa atividade biológica que geralmente ocorre durante todo o ano.

Face às suas dimensões e enorme quantidade de água envolvida na região, não só através dos rios como também pela massa foliar, que através do processo de transpiração atua na manutenção do equilíbrio hídrico reinante, o estudo do ciclo hidrológico é de suma importância para o ecossistema Amazônico, visando a sua exploração racional e adequada (LEOPOLDO et al., 1982; FRANKEN et al., 1982).

A Amazônia Central apresenta uma precipitação bastante elevada durante o ano, em média 2200 mm, com uma ciclagem interna de vapor de água bastante intensa, sendo a massa total desse vapor constituída de 50% de origem marinha (Oceano Atlântico) e 50% de origem da própria Bacia, através da evapotranspiração (FISH et al., 2007; SALATI, 1987). Marques et al. (1977 e 1980) descrevem que 52 % da precipitação que cai na Bacia Amazônica tem como origem o vapor de água proveniente do Oceano Atlântico e 48% restante tem como fonte o vapor d'água oriundos da própria região. Segundo Marques et al. (1979), esse tempo de reciclagem é de aproximadamente 5,5 dias, portanto, uma região com alta pluviosidade.

Após interagir com o dossel florestal, parte da água de precipitação é retida (interceptada) pelos arbustos e árvores, sendo evaporada, retornando deste modo

para a atmosfera. A perda por interceptação representa uma variável importante do ciclo hidrológico, por retornar diretamente e mais rapidamente vapor d'água para a atmosfera (FERREIRA et al., 2005). Segundo Cuartas et al. (2007), a evapotranspiração é um dos componentes mais importantes do balanço hídrico da floresta, pois essa fração de água não disponível para o solo modifica os balanços de água e energia na interface superfície atmosfera. De acordo com Green et al. (2011) a precipitação excede a evapotranspiração durante a maior parte do ano. A interceptação depende não apenas da estrutura física da vegetação, mas também das características da precipitação. Experimentos hidrológicos realizaram quantificações em várias localidades e fornecem evidências de como a interceptação varia através das diferentes regiões da Amazônia e de como a interceptação é fortemente afetada pela variabilidade interanual de precipitação (TOMASELLA et al., 2007, 2008; CUARTAS et al., 2007).

Do total de precipitação que chega à cobertura florestal, a parte que não retornou para a atmosfera em forma de evaporação e transpiração das plantas (evapotranspiração), alcança o piso da floresta após a lavagem do dossel superior, árvores do sub-bosque e o escoamento pelo tronco das árvores, constituindo a precipitação efetiva (VITAL et al., 2021). A quantidade e distribuição espacial de chuva que alcança o piso florestal (precipitação interna) dependem do tipo e da forma de abertura existentes no dossel superior, da área foliar total, do número de camadas da vegetação e da intensidade da precipitação (VITAL et al., 2003).

O estudo sobre a precipitação interna na região Amazônica ainda é muito escasso, principalmente em fragmentos florestais urbanos. A cobertura florestal também é importante para atenuar a energia das gotas de chuva, tornando a sua precipitação menos impactante ao solo, principalmente nas chuvas com elevada intensidade. Além disso, segundo Schubart, (1982), uma maneira de conservar a extensa cobertura florestal na Amazônia é, além de mostrar o valor da floresta, descobrir e ensinar o seu valor. Portanto, o principal objetivo deste estudo foi determinar variações sazonais e temporais da precipitação em uma área de floresta natural na Amazônia Central Brasileira, buscando obter dados e parâmetros que servirão como padrão para o desenvolvimento de estudos similares em área urbana, principalmente, em bacias hidrográficas degradadas devido aos efeitos da urbanização e poluição na cidade de Manaus-AM.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

O estudo foi realizado na microbacia do Igarapé Açu que abrange uma área aproximada de 6,6 km² e faz parte da Bacia do Rio Cuieiras (22.700 km²), afluente do Rio Negro (MONTEIRO et al., 2014). Sua localização está distante cerca de 84 km a noroeste da cidade de Manaus, no km 34 da estrada vicinal - ZF2, com acesso pela BR 174 (TOMASELLA et al., 2009) situada na Reserva Biológica do Cuieiras – INPA. O relevo local foi formado pela dissecação de um planalto de sedimentos terciários por vales de várias dimensões (BRAVARD; RIGHI, 1989). Os planaltos são

geralmente planos ou com declives suaves (<7%), com altitudes que variam entre 90 e 120 m (TOMASELLA et al., 2007) (Figura 1).

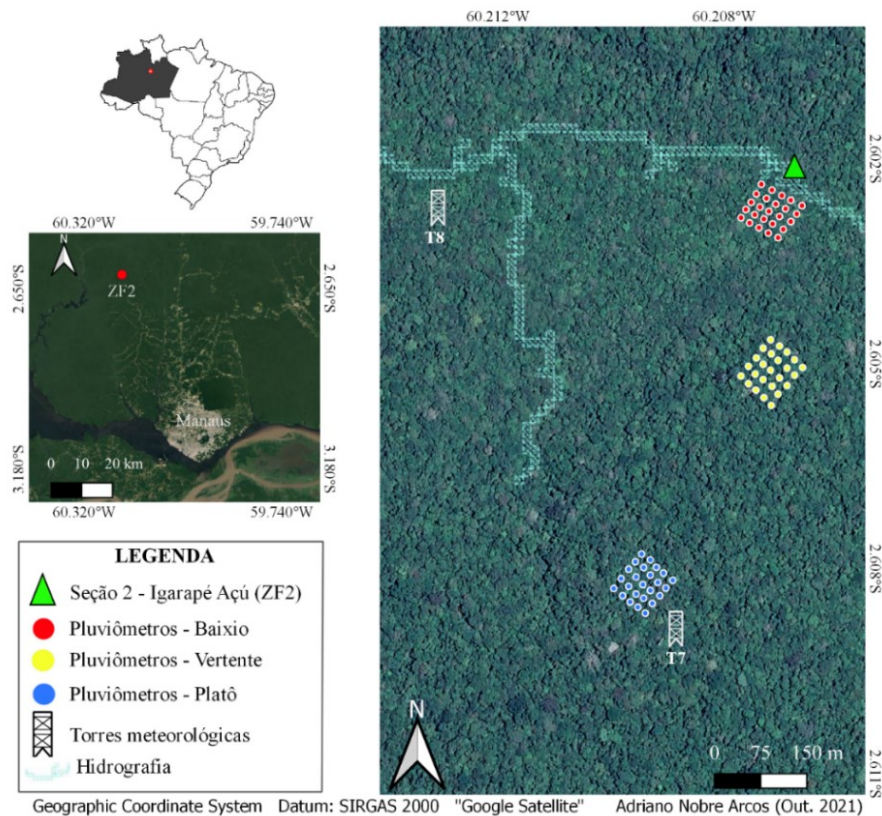


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo com a distribuição dos pluviômetros ao longo do perfil florestal – baixio, encosta e platô na ZF2 Manaus-AM. **Fonte:** Autores.

Nessa reserva, foi demarcado um perfil florestal envolvendo as áreas de Baixio: 02° 36' 9,54" S 60° 12' 26,4" W; Encosta: 02° 36' 16,74" S 60° 12' 27,48" W e Platô: 02° 36' 32,25" S 60° 12' 33,42" W para o estudo de precipitação interna e 2 pluviômetros para a quantificação da precipitação total Torre 7: 02° 36' 32,67" S 60° 12' 33,48" W e Torre 8: 02° 36' 10,18" S 60° 12' 45,09" W. As coletas foram realizadas no período de junho de 2021 a dezembro de 2022 (Figuras 1 e 2).

O clima da região é do tipo "Am" (Clima Tropical) segundo a classificação de Köppen, com temperatura média de 26 °C (mínima 19 °C e máxima 39 °C), com uma estação chuvosa de dezembro a maio e a estação seca de junho a novembro (TOMASELLA et al., 2007). Na Amazônia Central a precipitação média anual é de cerca de 1.800 a 2800 mm e até mesmo no Sudoeste da Amazônia a precipitação média anual é de 2265 mm (TOMASELLA et al., 2009).

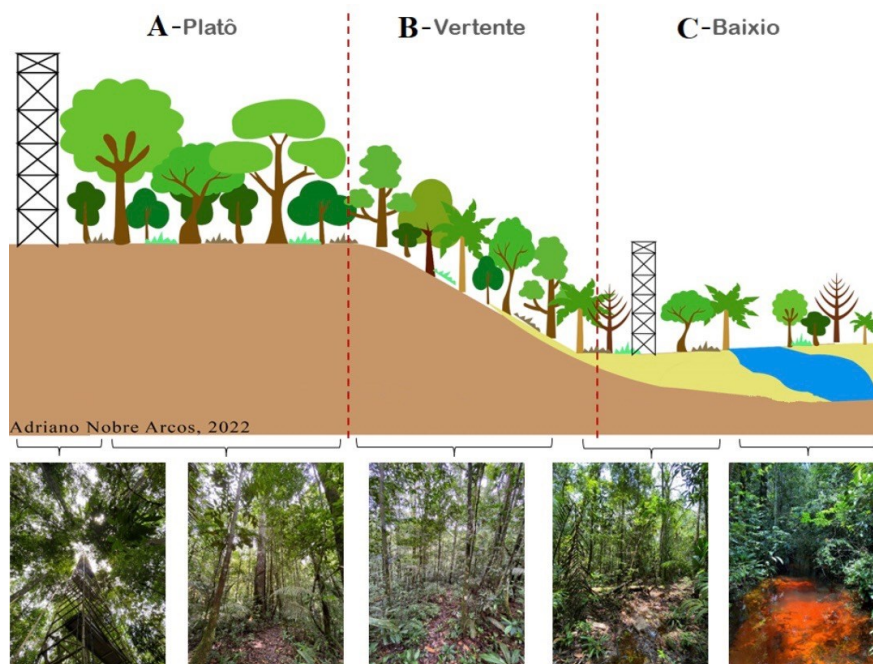


Figura 2. Esquema ilustrativo das diferentes formações geomorfológicas dentro da área florestal no sítio experimental da ZF2. **Fonte:** Adriano Nobre Arcos (2022).

Vegetação e Solo

A reserva é predominantemente coberta por uma típica floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia, ou Floresta Densa Tropical segundo a classificação (RADAMBRASIL, 1978). Na bacia de drenagem do igarapé Açu a vegetação compõe-se de floresta densa tropical úmida perene, com variabilidade espacial marcada, dependendo de sua localização na paisagem (RANZANI, 1980A.; TOMASELLA et al., 2007).

No platô, onde está localizada a torre K34 (denominada de Torre 7 neste estudo), a formação florestal predominante é a mata argilícola, com dossel de 30 a 35 m; 35-40 m de altura, caracteriza-se por um grande número de árvores altas e finas, com espécies emergentes como *Dinizia excelsa* e também com várias palmeiras sem tronco, como *Attalea attaleoides* e *Astrocaryum sciophilum* e o dossel possui aspecto rugoso, com copas globosas, próximas umas das outras, resultando na pouca passagem de luz para os estratos inferiores densidade de cerca de 1500 árvores por ha com diâmetro >5 cm (TOMASELLA et al., 2007; FRANÇA et al. 2015; OLIVEIRA et al., 2008a; TOMASELLA et al., 2009).

Na vertente (encosta), a floresta é classificada como mata arenícola, com uma altura menor em torno de 25-35 m, com dossel de até 25 m com poucas árvores emergentes, e existem algumas espécies de árvores que só ocorrem nesse habitat. A densidade arbórea é alta, com cerca de 2500 árvores ha com diâmetro >5 cm. Embora a densidade arbórea seja mais baixa no platô do que na vertente, suas árvores são maiores em diâmetro e altura (LUIZÃO et al., 2004; TOMASELLA et al., 2007; FREITAS, 2019).

No baixio, a floresta é classificada como campinarana, que é uma floresta densa baixa, baixa biomassa e árvores com altura entre 20-35 m dominada por palmeiras, arbustos e líquens sob solos encharcados durante a estação chuvosa. Possui com poucas árvores emergentes e várias árvores com raízes aéreas e adventícias, e várias espécies de palmeiras arbóreas, como *Oenocarpus bataua* e *Mauritia flexuosa* (RANZANI, 1980; LUIZÃO et al., 2004; FREITAS, 2019).

Os solos do platô são muito argilosos classificados como Latossolos amarelos álicos, textura argilosa. Na porção intermediária da vertente, os solos são argilo arenosa, variando de Latossolos amarelos a solos de aluvião conhecidos como Argissolos Vermelho Amarelo Álicos. Na área do baixio (vale) os solos são arenosos, descrito como Espodossolos (RANZANI, 1980; CHAUVEL, 1982; CHAUVEL et al., 1987a, 1987b; FERRAZ et al., 1998; LUIZÃO et al., 2004; TOMASELLA et al., 2007; FREITAS, 2019; MARQUES et al., 2012).

Precipitação Total e Interna

O experimento foi realizado em um perfil florestal nas sub-parcelas: floresta de baixio, encosta e platô no período de junho de 2021 a dezembro de 2022 (Figuras 1 e 2). A precipitação total foi determinada por meio de dois pluviômetros instalados em locais abertos nas áreas de floresta de platô (Torre 7, também chamada de K34, 56 m de altura) e baixio (Torre 8 com 48 m) ambas no km 34 – ZF2 mantidas pelo programa LBA - Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera da Amazônia na Reserva Biológica do Cuieiras.

Os pluviômetros foram construídos utilizando tubos de PVC de 150 mm de diâmetro, redução de PVC de 150 para 100 mm e funil plástico. Tais coletores foram calibrados em função da medição obtida com pluviômetro oficial tipo “Ville de Paris”, com 400 cm² de superfície. Ao comparar com o modelo padrão, o modelo desenvolvido para este estudo não identificou diferença significativa na captação de água da chuva. A água da chuva entra pela abertura superior do PVC, passa por uma malha de contenção de resíduos e escorre pela mangueira transparente até o coletor fixo ao solo (Figura 3).



Figura 3. Pluviômetro instalado dentro da área florestal no sítio experimental da ZF2 para captura de água da chuva. **Fonte:** Adriano Nobre Arcos (2022).

Para a precipitação interna, foram utilizados 75 pluviômetros distribuídos 25 para cada sub-parcela: baixio, encosta e platô (Figura 3). Cada pluviômetro possui uma superfície de captação média de 175,1 cm². Foram instalados no interior da floresta, nivelados e colocados a uma altura de 0,90 m do solo, determinando uma distribuição sistemática, em malha de 30 x 20 m (VITAL et al., 2003).

As leituras manuais foram feitas semanalmente, obtendo-se valores volumétricos os quais, posteriormente, foram transformados em milímetros de altura de água. Após a medida, a água foi depositada em frasco de polietileno de 300 ml para análise em laboratório e caracterização química dessas águas.

Interceptação

Após a obtenção dos dados, foram estimadas as perdas por interceptação empregando-se a equação definida por Helvey e Patric (1965):

$$I = PT - PI$$

Onde,

I = perda por interceptação (mm); PT = precipitação total (mm); PI = precipitação interna (mm).

Análise dos dados

Os dados foram tabulados em planilha para geração de gráficos e tabelas, e foi realizada o teste de normalidade e análise de variância – ANOVA (considerando $p = <0,05$), para comparar o volume da precipitação total e interna nos períodos sazonais, com o uso do software Past versão 4.0 (HAMMER et al., 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O volume total de precipitação pluviométrica (média dos volumes totais das torres 7 e 8) no período de junho de 2021 a dezembro de 2022 foi de 1294,1 mm. Foram utilizados os dados das duas torres com o objetivo de melhor caracterizar a distribuição de chuva no perfil florestal. É possível observar que os dados da precipitação total obtida nas torres 7 e 8 seguiram a mesma tendência tanto no período chuvoso como no período de estiagem, não apresentando diferença significativa no volume de chuva entre elas ($p = 0,52$) (Figura 4 e Tabela 1).

Quando comparados os dois períodos sazonais em anos distintos, no período seco de 2021 a média no volume de chuva foi maior em relação ao ano de 2022, estando próximo da média do período chuvoso de 2022, portanto, não apresentando uma variação sazonal bem definida neste período de amostragem.

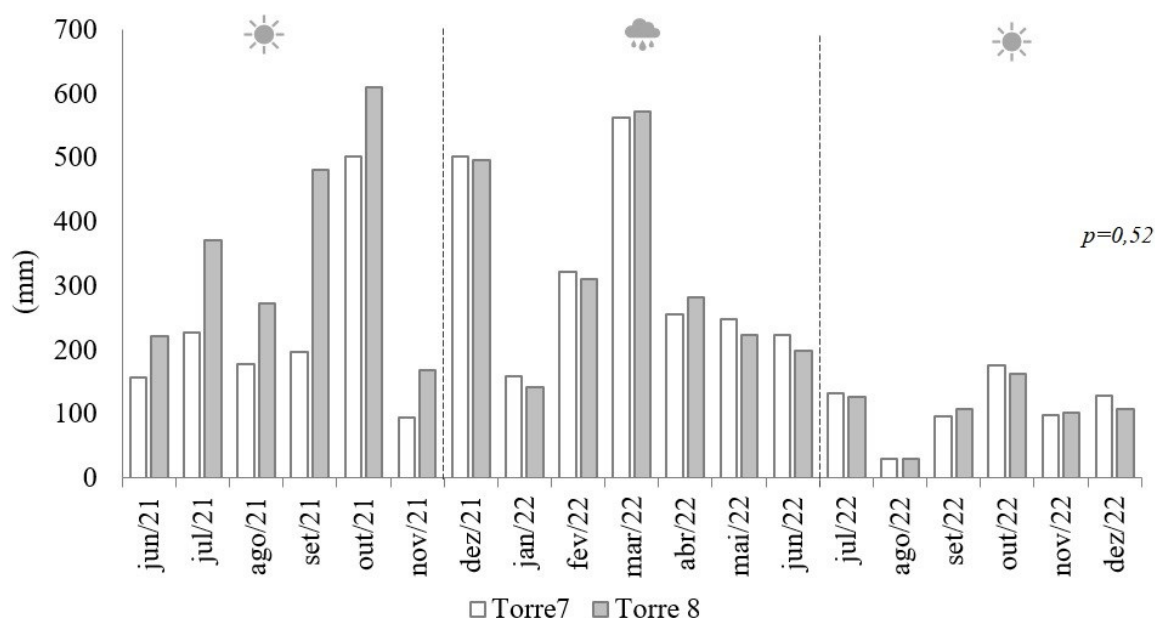


Figura 4. Acumulado mensal da precipitação total entre 2021 e 2022 obtidos nas torres meteorológicas 7 e 8. **Fonte:** Autores.

Segundo D'ávila Junior e Vieira (2019), os meses mais chuvosos na cidade de Manaus ocorrem entre novembro e junho (abril mês mais chuvoso), e os menos chuvosos são os meses de julho, agosto (menos chuvoso), setembro e outubro. Na

área de estudo na ZF2 não foi bem definido os períodos sazonais entre 2021 e 2022, entretanto, apresentou maiores volumes no segundo semestre e que corresponde ao período chuvoso na região.

Estudo realizado por Marinho e Rivera (2021) com o uso de satélites para estimar a precipitação na bacia do rio Negro, verificou uma elevada variabilidade espacial na precipitação entre o alto rio Negro e alto rio Branco, principalmente em função do relevo nas áreas que drenam os escudos das Guianas. No presente estudo identificamos uma variação temporal definida entre os períodos sazonais, especialmente no ano de 2022 com elevados volumes de chuva no primeiro semestre. Além disso, os pesquisadores relatam um aumento na intensidade e frequência de eventos climáticos extremos na Amazônia, com grandes secas e cheias dos rios. Candido e Souza (2016) apresentam projeções que apontam a probabilidade da ocorrência de valores extremos de precipitação na bacia do rio Negro.

De acordo com Salati et al. (1984), os principais fatores que determinam os padrões de clima e conseqüentemente a pluviosidade da região Amazônica são: o movimento meridional do Sol entre os paralelos $23^{\circ}27'$, cruzando a linha do Equador duas vezes por ano em intervalos de seis meses e a fonte de água e ar quente que é o Oceano Atlântico. A pluviosidade na Bacia Amazônica tem alta intensidade, mas sua variação sazonal é geograficamente distribuída de forma heterogênea apresentando variabilidade espacial e temporal (FERREIRA et al., 2005; FIGUEROA; NOBRE, 1990), onde as médias anuais de precipitações variam de mais de 6000 mm nas encostas dos Andes a aproximadamente 1600 mm na interface da Amazônia com o cerrado do Planalto Central Brasileiro (SALATI, 1983).

A “figura 5” mostra a precipitação interna nas florestas de baixo, encosta e platô em relação a precipitação total incidente. Como pode ser observado na figura abaixo, os valores para a precipitação interna nas áreas de floresta de baixo, encosta e platô, apresentaram valores muito próximos entre elas para todo o período experimental. É possível descrever uma certa tendência de um valor maior de precipitação interna na floresta de platô, seguido da floresta de encosta e baixo, respectivamente, porém, não chega a ser expressiva. Além disso, a precipitação total apresentou valores elevados em comparação com a precipitação interna nas três áreas de estudo. Quando comparado o volume mensal de chuva entre as áreas de estudo e diferentes tipos de precipitação, não foi observada diferença estatística significativa entre elas ($p= 0,37$) (Figura 5, Tabela 1).

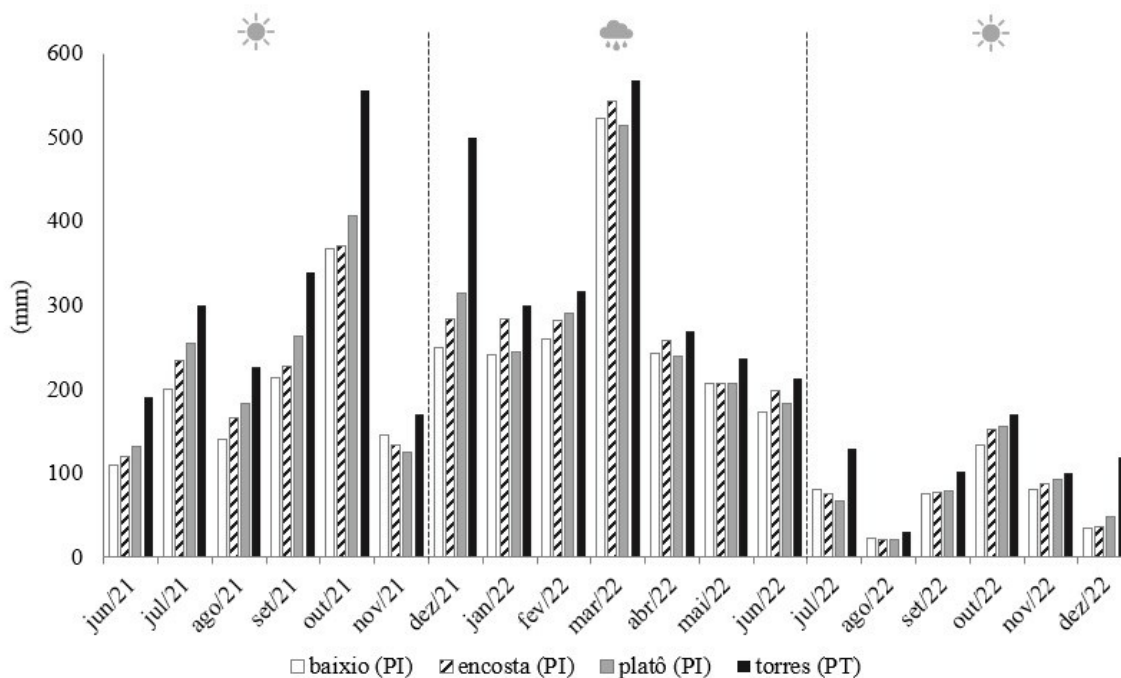


Figura 5. Acumulado mensal da precipitação interna (PI) entre 2021 e 2022 obtidos nas áreas de floresta de baixio, encosta, platô, em comparação com a precipitação total ans torres (PT). **Fonte:** Autores.

De acordo com Leopoldo et al. (1982) essas variações demonstram que os valores obtidos na repartição de uma chuva dependem de uma série de fatores, entre eles do estado de saturação da floresta, da intensidade da precipitação e da ocorrência de ventos durante ou após o evento chuvoso. Esses resultados dependem da característica da vegetação, declividade, das variações estacionais, eventos de chuva, velocidade do vento, da sua topográfica, dentre outros.

Durante o estudo, no geral notou-se que a precipitação total apresentou volumes mais elevados em relação a precipitação interna. Essa diferença na variação entre a precipitação total e interna também é observada em estudos aplicados em fragmentos florestais urbanos em Manaus (VITAL et al., 2021; ARCOS et al., 2022). Vallejo (1982) aponta que quanto maior o adensamento de vegetação ou um aumento na demanda de água pela vegetação, propicia menores quantidades de chuvas que alcançam o piso florestal. Alguns aspectos fisionômicos da vegetação propiciam o aumento na concentração pontual de chuvas no interior de uma floresta. Segundo Lorenzon, Dias e Leite (2013) a precipitação interna é a variável que mais contribui para a quantidade de água no solo, apresentando tendência linear em relação ao total da precipitação.

Segundo Miranda (1992) os fluxos de água no tronco representam em média, uma pequena parcela das chuvas (em torno de 1,8 %) e variam consideravelmente no nível dos indivíduos vegetais: os menores volumes tendem a ocorrer nas árvores de diâmetro maior, principalmente as que desenvolvem suportes na base dos troncos, que além de absorver mais água, também promovem o espriamento do fluxo de tronco antes desse penetrar o solo.

Na tabela 1 constam os valores mensais da precipitação total em mm e a porcentagem média mensal (%) da precipitação interna e interceptação. A precipitação interna representou 71,4 %, 76,2 % e 77,2 % para as áreas de floresta do baixio, da encosta e do platô respectivamente, e a interceptação representou 28,5 %, 23,8 % e 22,8 % para as áreas de floresta do baixio, encosta e platô respectivamente.

Tabela 1. Valores absolutos e percentuais de precipitação total (PT) e percentuais médios mensais da precipitação interna (PI) e interceptação (I) nas florestas de baixio, encosta e platô.

Mês	PT		PI			I		
	Torres 7 e 8		baixio	encosta	platô	baixio	encosta	platô
	(mm)	(%)	(%)			(%)		
Junho/2021	222,5	100	57,8	63,2	69,6	42,2	36,8	30,4
Julho/2021	372,0	100	66,5	78,3	84,8	33,5	21,7	15,2
Agosto/2021	272,4	100	62,4	73,7	80,9	37,6	26,3	19,1
Setembro/2021	480,8	100	63,0	67,1	77,7	37,0	32,9	22,3
Outubro/2021	610,1	100	66,1	66,6	72,9	33,9	33,4	27,1
Novembro/2021	169,6	100	85,1	78,7	73,4	14,9	21,3	26,6
Dezembro/2021	497,5	100	49,9	56,8	62,8	50,1	43,2	37,2
Janeiro/2002	142,4	100	80,5	94,8	81,7	19,5	5,2	18,3
Fevereiro/2002	310,7	100	82,1	88,8	91,8	17,9	11,2	8,2
Março/2002	573,0	100	92,0	95,7	90,6	8,0	4,3	9,4
Abril/2002	281,7	100	90,1	95,7	88,7	9,9	4,3	11,3
Mai/2002	224,0	100	87,7	87,6	87,3	12,3	12,4	12,7
Junho/2022	199,2	100	81,0	93,6	86,4	19,0	6,4	13,6
Julho/2022	126,5	100	62,1	58,6	51,3	37,9	41,4	48,7
Agosto/2022	30,2	100	70,5	67,5	66,6	29,5	32,5	33,4
Setembro/2022	107,2	100	73,5	76,0	77,9	26,5	24,0	22,1
Outubro/2022	162,8	100	78,0	89,1	90,9	22,0	10,9	9,1
Novembro/2022	101,7	100	80,7	86,5	92,1	19,3	13,5	7,9
Dezembro/2022	108,9	100	28,3	29,9	40,2	70,7	70,1	59,8
Total e porcentagem	1294,1	100 %	71,4 %	76,2 %	77,2 %	28,5 %	23,8 %	22,8 %

Fonte: Autores.

A interceptação foi maior na floresta do baixio, seguida da floresta de encosta e platô, respectivamente. A exemplo da precipitação interna, esses valores mostraram-se muito próximos. Essas porcentagens foram inferiores calculadas por Cuartas et al. (2007), que obteve 83 % da precipitação interna para mesma área florestal ao longo de um gradiente topográfico (platô, vertente e baixio) para o período de dois anos. Segundo os mesmos autores, esta diferença na porcentagem de precipitação interna pode se dá pela variação interanual no regime de chuva, que tem efeito sobre a intensidade e duração dos eventos e conseqüentemente sobre a quantidade de água interceptada. É de suma importância o estudo da determinação da magnitude da precipitação interceptada pela vegetação para análises de balanço hídrico, visto que a interceptação é parte significativa da precipitação total incidente acima do dossel (OLIVEIRA et al., 2008b).

De acordo com Bruijnzeel (1990) em florestas tropicais, de 75 a 96 % da precipitação incidente transforma-se em precipitação interna, e entre 4,5 e 24 % é interceptada pelas copas das árvores. Neste sentido, inúmeros trabalhos já foram desenvolvidos,

nas quais foram utilizadas técnicas convencionais, isotópicas e outras metodologias adequadas.

Estudos desenvolvidos em área de floresta natural ao longo da estrada vicinal ZF-2 mostraram valores de 78,6 % para a precipitação interna e 21,3 % para a interceptação (FRANKEN et al., 1982; SCHUBART et al., 1984; LEOPOLDO et al., 1987; FERREIRA et al., 2005; CUARTAS et al., 2007). Leopoldo et al. (1982), descrevem que 74 % da precipitação que atinge o dossel da floresta é evapotranspirado e os 26 % restante, é perdido por escoamento superficial.

Segundo Cuartas et al. (2007) nos anos com precipitação normal (próximo a média), a interceptação foi de 13,3%, em comparação com 22,6% em um ano seco na microbacia do igarapé Açu na Amazônia central. A diferença na interceptação é explicada pela comparação de média da intensidade e duração dos eventos de chuva em um ano normal em contraste com o mais seco. A perda por interceptação para todo o período foi de 16,5% da precipitação bruta, com precipitação interna de 82,9% e escoamento pelo tronco de 0,6%. Germer et al. (2007) relataram uma precipitação interna (não interceptada) de 89,6% da precipitação bruta, no sudoeste da Amazônia.

Os resultados encontrados nesse estudo nos permitem comparar com os obtidos em outros trabalhos similares desenvolvidos na mesma área e áreas muito próximas por diferentes autores, métodos e época (Tabela 2).

De um modo geral, os valores encontrados para a precipitação interna e interceptação situam-se dentro da faixa encontrada para essa floresta, localizado na Amazônia Central. Por se tratar de um ecossistema natural e preservado, esses dados já permitem estabelecer uma comparação com estudos, paralelos, que estão sendo desenvolvidos em ecossistema urbano na cidade de Manaus. Nesse sentido, acreditando-se que, para um manejo ou preservação racional de um ecossistema é necessário se ter real conhecimento dos componentes do ciclo hidrológico em bacias hidrográficas com cobertura florestal característica da região, devido a importação da vegetação que intercepta uma significativa parcela da precipitação, que retorna para a atmosfera na forma de vapor contribuindo para a formação de chuva.

Tabela 2. Quadro comparativo do percentual de PI, ET e I dos experimentos desenvolvidos na Amazônia, mais precisamente na ZF-2.

ZF2 - Amazonas	PI	ET	I	Referência
	%			
Bacia Modelo (km 14)	78	0,3	22	Franke et. al., (1982)
Bacia Modelo (km 14)		74	26	Leopoldo et al., (1982)
Floresta Intacta (km 23)	81	--	19	Ferreira et. al., (2005)
Microbacia do Igarapé Açu (km 34)	83	0,6	17	Cuartas et. al., (2007)
Microbacia do Igarapé Açu (km 34 - baixio)	71	--	29	Este estudo

ZF2 - Amazonas	PI	ET	I	Referência
	%			
Microbacia do Igarapé Açu (km 34 - encosta)	76	--	24	Este estudo
Microbacia do Igarapé Açu (km 34 - platô)	77	--	23	Este estudo

Fonte: Autores.

Para Espinoza Villar et al. (2008), maiores percepções sobre os aspectos relacionados a variabilidade espaço-temporal da precipitação, dados pluviométricos, variabilidade interdecadal, precipitação média e fenômenos climáticos, permitirão identificar o impacto do clima na hidrologia da Bacia Amazônica. Portanto, podendo prever potenciais mudanças no regime hidrológico com impactos diretos para a Amazônia. Um estudo aprofundado sobre a seca na Amazônia desenvolvido por Marengo e colaboradores (2008) apontam que pesquisas adicionais devem se concentrar em melhorar a parametrização e incorporar dados empíricos disponíveis, nesse sentido indicam como exemplo o Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA), que possui um banco de dados climáticos na Amazônia, no qual nosso estudo também está inserido com pesquisas na reserva Biológicas do Cuieiras – ZF2/LBA.

Os processos que envolvem a degradação ambiental vêm aumentando em muitas regiões no Estado do Amazonas, portanto, é necessário um sistema de monitoramento que leve em consideração todas as etapas do ciclo hidrológico: precipitação, águas superficiais, águas subterrâneas (ARCOS; CUNHA, 2021). Para Falcão, Arcos e Costa (2021) a sazonalidade e a urbanização são elementos importantes nos processos hidrológicos, afetando direta e indiretamente na qualidade das águas. Além disso, a cobertura florestal e a sazonalidade atuam direta e indiretamente em diversos processos biológicos no ecossistema Amazônico (ARCOS et al., 2021).

CONCLUSÃO

Levando em consideração as condições climáticas, as características vegetais e os métodos utilizados, conclui-se que o valor observado para a interceptação da água da chuva encontra-se dentro daqueles citados na literatura. A precipitação interna atingiu o valor de 71,4 %, 76,2 % e 77,2 % e uma interceptação de 28,5 %, 23,8 % e 22,8 %, respectivamente, para as florestas de baixo, encosta e platô, da altura total de chuva verificada no período.

De modo geral, os resultados mostram um importante e significativo papel desempenhado pelas florestas naturais como componentes do ecossistema de baixo, encosta e platô, quanto à proteção e preservação dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, aumentando o tempo de retenção da água no ecossistema, com consequência direta no controle de cheias e transporte de sedimentos para a calha de drenagem. Isso demonstra a necessidade da preservação e conservação, bem

como da ampliação de tais ecossistemas, assegurando o equilíbrio climático os serviços ambientais.

Esses resultados mostram a importância da manutenção dos ecossistemas naturais como um parâmetro padrão para estudos hidrológicos não apenas para a cidade de Manaus, onde a necessidade de minimização de impactos de áreas degradadas é iminente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM pela oportunidade na qualificação científica, apoio logístico, material técnico e de consumo para o desenvolvimento das pesquisas. O presente artigo é decorrente do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&DI) "IETÉ", que conta com financiamento da Samsung, usando recursos da Lei de Informática para a Amazônia Ocidental (Lei Federal nº 8.387/1991), estando sua divulgação de acordo com o previsto no artigo 39.º do Decreto nº 10.521/2020". Sendo este financiamento uma parceria INPA/SAMSUNG.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Concepção: Ana Rosa Tundis Vital Trigo e Adriano Nobre Arcos. **Metodologia:** Adriano Nobre Arcos e Anthony Lopes. **Análise formal:** Ana Rosa Tundis Vital Trigo, Sávio José Filgueiras Ferreira e Adriano Nobre Arcos. **Pesquisa:** Adriano Nobre Arcos e Anthony Lopes. **Recursos:** Ana Rosa Tundis Vital Trigo, Sávio José Filgueiras Ferreira, Márcio Luiz da Silva e Maria Terezinha Ferreira Monteiro. **Preparação de dados:** Ana Rosa Tundis Vital Trigo e Adriano Nobre Arcos. **Escrita do artigo:** Ana Rosa Tundis Vital Trigo, Sávio José Filgueiras Ferreira e Adriano Nobre Arcos. **Revisão:** Ana Rosa Tundis Vital Trigo, Sávio José Filgueiras Ferreira e Adriano Nobre Arcos. **Supervisão:** Ana Rosa Tundis Vital Trigo, Sávio José Filgueiras Ferreira, Márcio Luiz da Silva e Maria Terezinha Ferreira Monteiro. **Aquisição de financiamento:** Ana Rosa Tundis Vital Trigo, Sávio José Filgueiras Ferreira, Márcio Luiz da Silva e Maria Terezinha Ferreira Monteiro. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

REFERÊNCIAS

ARCOS, A. N.; CUNHA, H. B. Avaliação dos impactos da poluição nas águas superficiais de um afluente do rio Solimões na Amazônia Central Brasileira. **Caminhos da Geografia**, v. 22, n. 80, p. 01-14, 2021. <https://doi.org/10.14393/RCG228053079>

ARCOS, A. N.; VALENTE-NETO, F.; DA SILVA FERREIRA, F. A.; BOLZAN, F. P.; DA CUNHA, H. B.; TADEI, W. P.; HUGHES, R. M. DE OLIVEIRA ROQUE, F. Seasonality modulates the direct and indirect influences of forest cover on larval anopheline assemblages in western Amazônia. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 12721, 2021.

ARCOS, A.N.; SANTOS, M.S.; SILVA, L.E.S.; REBELO, M.A.; FERREIRA, J.S.F.; VITAL, A.R. **Varição temporal dos parâmetros físico-químicos da precipitação total e interna em área florestal e urbana na região metropolitana de Manaus, Amazonas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, (17º), Anais eletrônicos, Belo Horizonte, 2022. pp. 1-9. Disponível em: <https://schenautomacao.com.br/cbge2022/envio/files/trabalho1_140.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2023.

BRAVARD, S.; RIGHI, D. Geochemical differences in an Oxisol–Spodosol toposequence of Amazonia, Brazil. **Geoderma**, v.44, p. 29-42, 1989.

BRUIJNZEEL, L. A. **Hydrology of moist tropical forest and effects of conversion: a state of knowledge review**. UNESCO/ International Association for Hydrological Science, Amsterdam. 224pp, 1990.

CANDIDO, L. A.; SOUZA, J. M. Prováveis alterações na temperatura e precipitação na bacia do rio Negro nos cenários de mudanças climáticas. In: FERREIRA, S. J. F.; DA SILVA, M. L.; PASCOALOTO, D. (Orgs.); **Amazônia das águas: qualidade, ecologia e educação ambiental**. Manaus: Valer/FAPEAM/INPA, 2016.

CHAUVEL, A.; LUCAS, Y.; BOULET, R. On the genesis of the soil mantle of the region of Manaus, central Amazonia, Brazil. **Experientia**, v. 43, p. 234–241, 1987.

CHAUVEL, A. Os latossolos amarelos, álicos, argilosos dentro dos ecossistemas das bacias experimentais do INPA e da região vizinha. **Acta Amazônica**, v. 12, n. 3, p. 47-60, 1982.

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. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 145, n. 1-2, p. 69-83, 2007.

D'AVILA JUNIOR, J. C. M.; VIEIRA, A. F. S. G. Padrões pluviométricos da Cidade de Manaus-AM: 1986 a 2015. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 102, p. 1-31, 2019.

ESPINOZA VILLAR, J. C.; RONCHAIL, J.; GUYOT, J. L.; COCHONNEAU, G.; NAZIANO, F.; LAVADO, W.; DE OLIVEIRA, E.; POMBOSA, R.; VAUCHEL, P.: Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador), **International Journal of Climatology**, v. 29, n.11, p. 1574-1594, 2009.

FALCÃO, M. M. S.; ARCOS, A. N.; COSTA, F. S. Avaliação da qualidade ambiental dos recursos hídricos ao longo do rio Preto da Eva no Amazonas, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, p. e107101522560, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i15.22560>

FERRAZ, J.; OHTA, S.; SALLES, P.C. 1998. Distribuição dos solos ao longo de dois transectos em Floresta primária ao Norte de Manaus (AM). In: HIGUCHI, N.; CAMPOS, M. A. A.; SAMPAIO, P. T. B.; SANTOS, J. (org.). **Pesquisas Florestais**

para a Conservação da Floresta e Reabilitação de Áreas Degradadas da Amazônia. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, Amazonas. 1998. p. 110-143.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; DALLAROSA, R. L. G. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida a extração seletiva de madeira na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 1, p. 55-62, 2005.

FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. A. Precipitation distribution over central and western tropical South America. **Climanálise**, v. 5, n. 6, p. 36-45, 1990.

FISCH, I. F.; VENDRAME, G.; HANAOKA, P. C. M. Variabilidade Espacial da Chuva Durante o Experimento LBA/TRMM 1999 na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 4, p. 583-590, 2007.

FORTI, M. C.; NORDERMANN, L. M. M. Rainwater and throughfall chemistry in a "Terra Firme" rain forest: Central Amazonia. **Journal of geophysical research**, v. 96, n. 4, p. 7415-7421, 1991.

FRANÇA, M. N. C.; MONTEIRO, M. T. F.; CANDIDO, L. A.; MARTINS, M. P.; CONCEIÇÃO, A. C. **Relação entre a precipitação e os fluxos de água na interação com o dossel florestal na Amazônia.** In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais eletrônicos. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<https://eventos.abrh.org.br/xxisbrh/>>. Acesso em: 27 mar. 2023.

FRANKEN, W.; LEOPOLDO, P. R.; MATSUI, E.; RIBEIRO, M. N. G. Interceptação das precipitações em floresta amazônica de terra firme. **Acta Amazonica**, v. 12, p. 15-22, 1982.

FREITAS, E. P. **Caracterização da variabilidade espacial do carbono em uma microbacia de floresta primária na Amazônia Central.** Dissertação (Mestrado em Clima e Ambiente). Universidade Estado do Amazonas e Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, 2019.

GERMER, S.; NEILL, C.; KRUSCHE, A. V.; GOUVEIA NETO, S. C.; ELSENBEER, H. Seasonal and within-event dynamic sofra in falland throughfall chemistry in an open tropical rain forestin Rondônia, Brazil. **Biogeochemistry**, v. 86, p. 155-174, 2007. doi:10.1007/s10533-007-9152-9

GREEN, T. R.; TANIGUCHI, M.; KOOI, H.; GURDAK, J.; ALLEN, D.; HISCOCK, K. M.; TREIDEL, H.; AURELI, A. Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater. **Journal of Hydrology**, v. 405, n. 3-4, p. 532-560, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.05.002>.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.

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

LEOPOLDO, P. R.; FRANKEN, W.; SALATI, E.; RIBEIRO, M. N. G. Towards a water balance in Central Amazonian region. **Experientia**, v. 43, p. 222-233, 1987.

LEOPOLDO, P. R.; FRANKEN, W.; SALATI, E. Balanço hídrico de pequena Bacia hidrográfica em floresta amazônica de terra firme. **Acta Amazônica**, v. 12, n. 2, p. 333-337, 1982.

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

LUIZÃO, R. C. C.; LUIZÃO, F. J.; PAIVA, R. Q.; MONTEIRO, T. F.; SOUZA, L. S.; KRUIJT, B. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. **Global Change Biol.**, v. 22, p. 592- 600, 2004.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M. D.; SAMPAIO DE OLIVEIRA, G.; DE OLIVEIRA, R.; CAMARGO, H.; ALVES, L. M.; BROWN, I. F. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of climate**, v. 21, n. 3, p. 495-516, 2008.

MARINHO, R. R.; RIVERA, I. A. A Precipitação Estimada por satélite na Bacia Do Rio Negro, Noroeste Amazônico (1981-2017). **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 50, p. 44-61, 2021.

MARQUES, J.; SALATI, E.; SANTOS, J. M. Cálculo da evapotranspiração real na Bacia Amazônica através do método aerológico. **Acta Amazonica**, v.10, n. 2, p. 357-361, 1980.

MARQUES, J.; SANTOS, J. M.; VILLA NOVA, N. A.; SALATI, E. Precipitable water and water vapour flux between Belem and Manaus. **Acta Amazonica**, v. 7, n. 3, p. 355-363, 1977.

MARQUES, J.; SANTOS, J. M.; SALATI, E. O armazenamento atmosférico de vapor d'água sobre a região Amazônica. **Acta Amazônica**, v. 9, n. 7, p. 15-72, 1979.

MARQUES, J. D.; LUIZÃO, F. J.; TEIXEIRA, W.; FERREIRA, S. J. F. Variações do Carbono Orgânico Dissolvido e de Atributos Físicos do Solo Sob Diferentes Sistemas de Uso da Terra na Amazônia Central. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 36, n. 611-622, 2012.

MIRANDA, J. C. **Interceptação das chuvas pela vegetação florestal e serapilheira nas encostas do Maciço da Tijuca: Parque Nacional da Tijuca, RJ.** 1992. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 100f.

MONTEIRO, M. T. F.; OLIVEIRA, S. M.; LUIZÃO, F. J.; CANDIDO, L. A.; FRANCOISE, Y.; TOMASELLA, J. Dissolved organic carbon concentration and its relationship to

electrical conductivity in the waters of a stream in a forested Amazonian blackwater catchment. **Plant Ecol. Divers.**, v. 7, n. 2, p. 205-213, 2014.

OLIVEIRA, A. N. D.; AMARAL, I. L. D.; RAMOS, M. B. P.; NOBRE, A. D.; COUTO, L. B.; SAHDO, R. M. Composição e Diversidade Florístico-Estrutural de um Hectare de Floresta Densa de Terra Firme na Amazônia Central; Amazonas; Brasil. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 4, p 627-642, 2008a.

OLIVEIRA, L. L. D.; COSTA, R. F. D.; SOUSA, F. D. A. S. D.; COSTA, A. C. L. D.; BRAGA, A. P. Precipitação efetiva e interceptação em Caxiuanã, na Amazônia Oriental. **Acta Amazonica**, v. 38, p. 723-732, 2008b.

RADAMBRASIL, Projeto. Programa de integração nacional. **Levantamento de recursos naturais**, v. 16, 1978.

RANZANI, G. Identificação e caracterização de alguns solos da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. **Acta Amazônica**, v. 10, n. 1, p. 7-41, 1980.

SALATI, E. O clima atual depende da floresta. In: SALATI, E.; JUNK, W. J.; SCHUBART, H. O. R; OLIVEIRA, A. (org.). **Amazônia, desenvolvimento, integração e ecologia**. São Paulo: Brasiliense, 1983. p. 15-44.

SALATI, E. The forest and the hydrological cycle. In: Dickinson, R. E. (org.). **The Geophysiography of Amazonia**, New York: Wiley, 1987. p. 273-293.

SALATI, E.; MARQUES, J.; MOLLION, L. B. Origem e Distribuição das Chuvas na Amazônia. **Interciência**, n. 3, p. 200-250, 1984.

SCHUBART, H. O. R.; FRANKEN, W.; LUIZÃO, F. J. Uma Floresta sobre solos pobres. **Ciência Hoje**, v. 2, n. 10, p. 26-32, 1984.

SCHUBART, O. R. Bacia Modelo: caracterização ecológica de uma bacia hidrográfica experimental na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 12, n. 3, 1982.

TOBÓN, C.; BOUTEN, W.; SEVINK, J. Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four Forest ecosystems in western Amazonia. **J. Hydrol.**, v. 237, p. 40-57, 2000.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. G.; CUARTAS, L. A.; NOBRE, A. D.; WATERLOO, M. J.; OLIVEIRA, S. The water balance of an Amazonian micro-catchment: the effect of interannual variability of rainfall on hydrological behavior. **Hydrogeological Processes**, v. 22, n. 13, p. 2133-2147, 2008. doi.org/10.1002/hyp.6813.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M.; CUARTAS, L.; NOBRE, A.; WATERLOO, M.; OLIVEIRA, S. The water balance of an Amazonian micro-catchment: the effect of interannual variability of rainfall on hydrological behaviour. **Hydrol. Processes**, v. 22, p. 2133-2147, 2007.

TOMASELLA, J.; NEILL, C.; FIGUEIREDO, R.; NOBRE, A. D. Balanços Hídrico e Químico em Escala de Bacia de Drenagem Incluindo Exportações de Nutrientes de Florestas Intactas e Áreas Perturbadas. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; DIAS, P. S. (org.). **Amazonia and Global Change. Geophysical Monograph Series**. Amazonia and global change, 2009.

VALLEJO, L. R. **A influência do litter florestal na distribuição das águas pluviais**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1982.

VITAL, A. R. T.; CARDOSO, L. G.; GUERRINI, I. A.; FRANKEN, W. K. 2003. Repartição da água da chuva em zona ripária de uma microbacia. **Energia na Agricultura**, v.18, n. 3 p. 14-23, 2003.

VITAL, A. R. T.; FERREIRA, S. J. F.; FREITAS, E. P.; SILVA, M. L.; MONNEIRO, M. T. F.; ALMEIDA, C. N.; NASCIMENTO, T. A. M.; SANTOS, M. S. Precipitação total e interna em fragmento florestal e área de floresta primária no município de Manaus-AM. In: SILVA, M.L. et al. (org.). **Projeto IETÉ - Rede de Monitoramento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Educandos-Manaus-AM/Fase I: Diagnóstico Ambiental**. Rio de Janeiro: Autografia, 2021. p. 109-126.



Revista Geonorte, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus-Brasil. Obra licenciada sob Creative Commons Atribuição 3.0