

A relação da chuva com a recarga de água em uma nascente urbana em Santarém-PA, Amazônia, Brasil

A recarga de água de nascentes é influenciada diretamente pela chuva e pela integridade da floresta ripária e do canal. Variações no padrão de chuva, como diminuição no volume, e a presença/ausência da vegetação ripária podem afetar a recarga de água. Com o objetivo de verificar a influência da chuva em uma área de nascente com vegetação ripária em recuperação, em um igarapé na zona urbana de Santarém-PA, foram monitorados a precipitação pluvial, o nível do lençol freático e o nível fluviométrico, em três pontos, entre novembro de 2017 e setembro de 2019. Houve diferença estatisticamente significativa entre os pontos monitorados para o nível do lençol freático ($F=19.4$; $p=4.3 \times 10^{-7}$), o nível fluviométrico ($F=16.02$; $p=3.9 \times 10^{-6}$) e a recarga de água ($F=5.75$; $p=0.005$), bem como entre os períodos chuvoso e seco, para os valores do nível do lençol freático ($F=4.9$; $p=0.03$) e nível fluviométrico ($F=5.34$; $p=0.02$). A recarga média anual para o ano de 2018 na nascente foi de 22% e para o ano de 2019 foi de 28%. A precipitação pluvial foi correlacionada positivamente com o nível fluviométrico ($R^2=0.54$, $p=0.02$) e negativamente com o nível do lençol freático ($R^2=0.77$, $p=0.002$). Durante o período de 22 meses de monitoramento foi possível observar que no período chuvoso o nível fluviométrico ficou em média 36 cm e no período seco baixou para 26,4 cm, com uma diferença entre os períodos de 9,8 cm. Com relação ao nível do lençol freático médio registrado no período chuvoso foi de 31 cm abaixo do solo, e no período seco ocorre um rebaixamento do nível freático para 44 cm (diferença de -13 cm). A recarga de água na nascente do igarapé Lururá no período chuvoso foi de 22% (905,6 mm) e no período seco de 63% (334,9 mm), mostrando que mais de 60% da chuva que cai no período de estiagem é utilizada para recarregar a nascente. Esta característica indica que a água subterrânea infiltrada efetivamente abastece este nível freático e proporciona sua variabilidade. A profundidade do lençol freático foi relativamente pequena e a variação sazonal do nível fluviométrico foi similar aos resultados encontrados em igarapés amazônicos de terra-firme nos três pontos monitorados na zona ripária da nascente do igarapé do Lururá. Os valores de recarga de água anual encontrados neste estudo para nascente do igarapé Lururá, obtidos pela aplicação do método da Variação do Nível de Água (VNA), estão próximos aos de aquíferos livres e profundos da Amazônia. Os resultados demonstram que o nível do lençol freático varia sazonalmente, de acordo com o período chuvoso, e espacialmente, já que houve diferença entre alguns pontos monitorados devido à sua localização antes ou depois de áreas onde existem intervenções antrópicas no canal, como represamento. O processo de reflorestamento natural que se mantém progressivo ao longo de 45 anos, combinando uma mistura de floresta secundária com remanescentes de vegetação primária favorecem a recarga de água e a manutenção da nascente. O município de Santarém, é constituído por uma densa malha de igarapés, as quais estão sob forte impacto devido à expansão urbana desordenada. O monitoramento dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais realizados neste estudo, são importantes para verificar como as variações do nível subterrâneo influenciam na quantidade de água disponível para as florestas, manutenção dos igarapés, sociedade e instigar ações de conservação dos mananciais.

Palavras-chave: Precipitação, Lençol freático, Nível fluviométrico, Recarga de água Subterrânea.

The relationship of rain to water recharge in an urban spring in Santarém-PA, Amazônia, Brazil

The recharge of springs' water is directly influenced by rainfall and by the integrity of the riparian forest and the channel. Variations in the rainfall pattern, such as a decrease in volume, and the presence/absence of riparian vegetation can affect water recharge. To verify the influence of the rain in a spring area with riparian vegetation in recovery, in a stream in the urban area of Santarém-PA, rainfall, water table level and fluviometric level were monitored at three points, between November 2017 and September 2019. There was a statistically significant difference between the monitored points for the water table level ($F=19.4$; $p=4.3 \times 10^{-7}$), the fluviometric level ($F=16.02$; $p=3.9 \times 10^{-6}$) and the water recharge ($F=5.75$; $p=0.005$), as well as between the rainy and dry periods, for the values of the water table level ($F=4.9$; $p=0.03$) and fluviometric level ($F=5.34$; $p=0.02$). The average annual recharge for the year 2018 at the spring area was 22% and for the year 2019 it was 28%. Rainfall was positively correlated with the fluviometric level ($R^2=0.54$, $p=0.02$) and negatively with the water table level ($R^2=0.77$, $p=0.002$). During the period of 22 months of monitoring, it was possible to observe that in the rainy period the fluviometric level was on average 36 cm and in the dry period it dropped to 26.4 cm, with a difference between the periods of 9.8 cm. The mean water table level recorded in the rainy season was 31 cm below the ground, and in the dry season there was a lowering in the water table to 44 cm below the ground (difference of -13 cm). The recharge of water at the Lururá stream spring in the rainy season was 22% (905.6 mm) and in the dry season it was 63% (334.9 mm), which shows that more than 60% of the rain that falls during the dry period is used to recharge the spring. This characteristic indicates that the infiltrated groundwater effectively supplies this water table and provides its variability. The depth of the water table was relatively shallow, and the seasonal variation of the fluviometric level was like the results found in Amazonian dry land (terra-firme) streams, in the three monitored points in the riparian zone of the Lururá stream spring area. The annual water recharge values found in this study for the Lururá stream spring area, obtained by applying the Water Level Variation (VNA) method, are close to those of free and deep aquifers in the Amazon. The results demonstrate that the water table varies seasonally, according to the rainy season, and spatially, as there was a difference between some monitored points due to their location before or after areas where there are anthropic interventions in the channel, such as damming. The natural reforestation process that has been progressive over 45 years, combining a mixture of secondary forest with remnants of primary vegetation favors the recharge of water and the maintenance of the spring. The municipality of Santarém is made up of a dense network of streams, which are under strong impact due to disorderly urban expansion. The monitoring of groundwater and surface water resources carried out in this study are important to verify how changes in groundwater influence the amount of water available to forests, maintenance of streams, society and instigate watershed conservation actions.


Keywords: Precipitation, Groundwater, Fluviometric Level, Groundwater Recharge.


Topic: Engenharia Ambiental


Received: 13/06/2021

Approved: 14/07/2021

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Aline Maelen Paz Souza 
Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6556540236705585>
<https://orcid.org/0000-0001-5508-7594>
alinemaelen@gmail.com

Ione Iolanda dos Santos 
Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0591114860826667>
<http://orcid.org/0000-0002-4159-5659>
ione_iolanda@hotmail.com

Leidiane Leão de Oliveira 
Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5016148560650320>
<https://orcid.org/0000-0002-5995-9107>
leidianeoli@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2318-2881.2021.003.0007

Referencing this:

SOUZA, A. M. P.; SANTOS, I. I.; OLIVEIRA, L. L. A relação da chuva com a recarga de água em uma nascente urbana em Santarém-PA, Amazônia, Brasil. *Nature and Conservation*, v.14, n.3, p.80-95, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2021.003.0007>

INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são bens de relevante valor à promoção do bem-estar de uma sociedade (LANNA, 2002). Apesar da abundância de 97% da água existente no planeta, apenas 0,3% do total de recursos de água doce está disponível e pode ser utilizada pelo homem. Este volume é encontrado nos lagos, nos rios e nas águas subterrâneas (TUNDISI, 2003). Segundo Avanzi (2005) os estudos em corpos hídricos são imprescindíveis para o entendimento da dinâmica dos processos hídricos, principalmente por ser possível visualizar as relações entre vegetação, clima, uso do solo e água no ciclo hidrológico.

Nesse contexto, podemos ressaltar que no passado a ocupação do homem foi realizada com pouco planejamento, tendo como objetivo o mínimo custo e os máximos benefícios de seus usuários, sem maior preocupação com a preservação do meio ambiente (TUCCI, 1993). Nesse sentido, o monitoramento hidrológico é fundamental para o planejamento, aproveitamento e conservação dos recursos hídricos. Para que possam ser gerenciados de forma adequada, é necessário saber onde estão, em que quantidade e qualidade e o quão variáveis podem ser suas características em um futuro previsível (STEWART, 2015).

Dessa forma, o município de Santarém, que engloba a área de estudo em questão, é constituído por uma densa malha de igarapés que formam o sistema de bacias de drenagem urbanas, as quais estão sob forte impacto devido a ação antropogênica em consequência da falta de gestão (SILVA et al., 2018; ALMEIDA, 2020; SANTOS et al., 2020). Essa degradação vem ocorrendo ao longo de vários anos de crescimento populacional e econômico, quando os igarapés urbanos se tornaram local de lançamentos de esgotos industriais e domésticos não tratados, tornando suas águas imprópria para os mais variados usos (SANTOS et al., 2020). Os principais elementos para se estruturar uma gestão de recursos hídricos são o planejamento e uso do solo, infraestrutura e gestão ambiental (TUCCI, 2008).

Desse modo, o crescimento da urbanização desordenada resulta na alteração de processos hidrológicos e aumento do escoamento superficial (ALMEIDA, 2020), diminuindo a capacidade natural de retenção e infiltração de água no solo (CAMPOS et al., 2020; SANTOS et al., 2020). As nascentes perdem as capacidades quantitativa e qualitativa da água, quando são alteradas, por ações antrópicas, em ambientes de contribuição natural de infiltração em seu entorno e na área de recarga do lençol freático, comprometendo seu reabastecimento e sua produção de água (RODRIGUES, 2006; SILVA et al., 2018).

O Código Florestal Brasileiro Lei n. 4.771, de 15 de setembro de 1965, define a importância da vegetação das zonas ripárias, elas são legalmente protegidas através da instituição de Áreas de Preservação Permanente (APPs) (BRASIL, 2012). A cobertura vegetal é importante, pois, interfere nos mecanismos de transportes de águas superficiais e subterrâneas, mantém a integridade dos solos reduzindo a erosão e é fundamental para recarga dos aquíferos e manutenção da rede de igarapés (TUCCI, 2009; TARGA et al., 2012).

Nos igarapés amazônicos de terra-firme, que não são influenciados pelo pulso de inundação dos grandes rios, o volume de água nos igarapés não varia gradualmente e previsivelmente, conforme observado nos grandes rios, mas está relacionado a pulsos de inundação em escala de tempo muito menor e com maior frequência (SIOLI, 1984; WALKER, 1995). Na Amazônia as chuvas locais aumentam os níveis

dos igarapés e inundam o vale adjacente por apenas algumas horas a dias ou por um tempo (SANTO et al., 2009).

A recarga de água de nascentes é influenciada diretamente pela chuva. Sabemos que a variação na quantidade e distribuição temporal da precipitação pluvial afeta diretamente a recarga de águas subterrâneas em aquíferos livres (BRITO et al., 2020). Variações no padrão de chuva, como diminuição no volume, por exemplo, provocadas por fenômenos como El Niño podem afetar a recarga de água das nascentes. Estudos de pequenas bacias hidrográficas fornecem informações importantes sobre as questões hidrológicas e biogeoquímicas desses ecossistemas, contribuindo enormemente para entender o funcionamento do fluxo hidrológico, apresentando alto potencial de gerar previsões para responder às mudanças dos sistemas hidrográficos frente às ações humanas em larga escala (NEILL et al., 2006).

A água subterrânea é vital na sustentação dos rios e igarapés. Em períodos de extrema seca contribui com vazões mínimas através do fluxo de base e, em áreas próximas da superfície, mantém a umidade do solo que conduz a evapotranspiração (BROEDEL et al., 2017). Desse modo, o acompanhamento das flutuações da água subterrânea em aquíferos livres é fundamental para propiciar instrumentos de gestão dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais, tendo em conta que as variações significativas do nível subterrâneo influenciam na quantidade de água disponível às florestas e cidades (WAKODE et al., 2018).

Neste sentido, o presente estudo teve por objetivo realizar a análise sazonal de variáveis hidrológicas da zona ripária em uma nascente em Santarém- PA, Amazônia, Brasil. Para isso foi realizado o monitoramento da precipitação pluvial, nível do lençol freático e nível fluviométrico, efeito da precipitação pluvial com os níveis do lençol freático, fluviométrico e recarga de água subterrânea, a fim de monitorar um importante serviço hídrico ambiental que é gerado na manutenção do ciclo hidrológico local.

METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada em uma nascente do igarapé Irurá, cuja nascente faz parte da microbacia do Irurá, afluente do rio Tapajós. A microbacia urbana é uma das principais bacias hidrográficas que cruzam o município, cuja paisagem em torno da área de estudo é modificada por ações antropogênicas e composta por uma floresta secundária (mata ciliar). Localizada no bairro Cambuquira no município de Santarém-PA, está situada na região norte do país, oeste do Pará, mesorregião do Baixo Amazonas, distante cerca de 710 km da capital Belém, cujo acesso se dá principalmente através da PA-370 e Rodovia BR-163. Suas coordenadas geográficas são: 02° 26' 35" S e 54° 42' 30" W, com altitude média de 29 metros acima do nível do mar (Figura 1).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2018 a população do município de Santarém-PA foi estimada em 302.667 habitantes, sendo classificado como o terceiro município mais populoso, ressaltando que somente 42% estão em perímetro urbano. O município de Santarém - PA, está sob a influência do clima tropical úmido, com variação térmica anual inferior a 5°C e precipitação média anual em torno de 1820 mm (classe Ami conforme sistema Köppen) (OLIVEIRA et al.,

2020). A umidade relativa do ar apresenta valores superiores a 80% em quase todos os meses do ano (COSTA et al., 2013). São definidos dois períodos, um chuvoso e outro menos chuvoso ou seco. O chuvoso coincide com os meses de dezembro a junho e o seco, com os meses de julho a novembro (OLIVEIRA et al., 2020). Nos meses mais secos, setembro, outubro e novembro, a mediana da precipitação pluvial fica em torno de 50 mm e o número de dias com chuva em torno de 5 dias (OLIVEIRA et al., 2020). As temperaturas mais elevadas ocorrem nos meses de junho a novembro (IBGE, 2019).

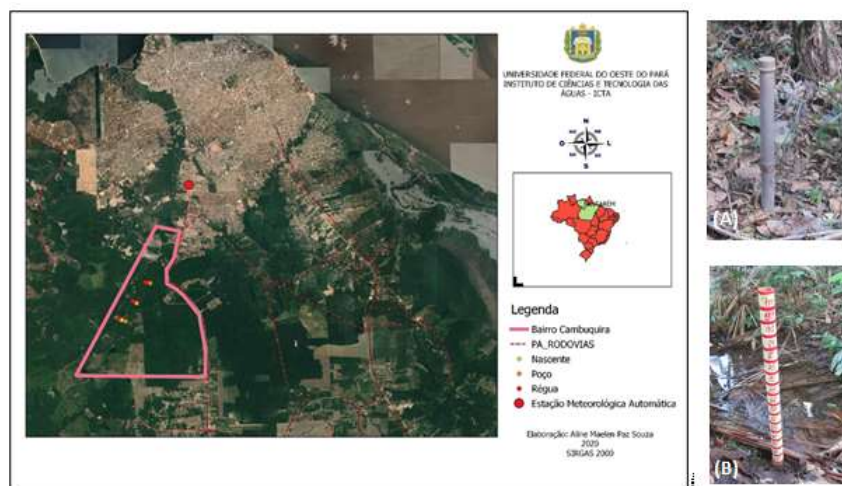


Figura 1: Localização dos pontos de monitoramento hidrológicos (A) Poço piezômetro e (B) Régua linimétrica na Nascente do Irurá, Santarém-PA.

Para o desenvolvimento desse estudo, foram necessários dados de níveis piezométricos (cm), fluviométricos (cm) e pluviométricos (mm). Os dados pluviométricos, foram obtidos na Estação Meteorológica Automática de Santarém, localizada sob as coordenadas geográficas de referência 02° 50' S, 54° 72' W e a 137 metros de altitude. A estação meteorológica está situada a aproximadamente 3 km da área de estudo, e é administrada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Figura 1).

Para a obtenção de dados do nível piezométrico foi confeccionado e instalado poços piezométricos. O piezômetro consiste em um cano de PVC hidráulico de 6 cm de diâmetro e comprimento variável, dependendo da profundidade do nível freático no local, a porção inferior possui ranhuras denominadas de filtros, para permitir a entrada e a saída de água, revestida por uma malha fina de poliéster e selada com uma tampa, para evitar entupimento. A porção superior, também selada com uma tampa chamada CAP, possui apenas uma perfuração para possibilitar a entrada e saída de ar (FREITAS et al., 2015).

A instalação dos piezômetros foi realizada no período seco por meio de trado manual até a incidência de água. A disposição dos piezômetros no local de estudo se deu em três pontos estratégicos sempre à margem esquerda do curso d'água, seguindo o protocolo PPBio/RAPELD (FREITAS et al., 2015). O primeiro piezômetro (P1) ficou localizado em uma área de platô (02° 30' 8,6" S; 54° 45' 2,5" W, 103 m), ponto de afloramento da nascente do igarapé, área represada pelo proprietário do terreno para geração de energia elétrica. O segundo piezômetro (P2) ficou localizado em área de vertente (02° 30' 4,6" S; 54° 45' 0,2" W; 73 m), próximo a roda d'água. O terceiro piezômetro (P3) em área de baixio (02° 30' 2,6" S; 54° 45' 0 0,1" W; 43 m), depois de uma "piscina" represamento do igarapé para fins de balneário (Figura 1). Estes pontos foram definidos devido a diferença de altitude entre eles ao longo do curso d'água da nascente. Na

verificação de variação do nível da água no solo foi utilizado um medidor manual artesanal de nível d'água conforme (RIBEIRO et al., 2018). O cálculo do nível do lençol freático foi determinado pela diferença da distância da fita até a água, e pela altura do cano até o solo, como mostra a equação abaixo:

$$N=D-Hs$$

(1)

Onde:

N = Nível do lençol freático (cm)

D = Distância do cano até a água (cm)

Hs = Altura do cano até o solo (cm).

Os valores negativos, representam que o nível do lençol freático ficou abaixo da superfície do solo. Valores negativos menores representam que o nível do lençol freático se aproximou da superfície, enquanto valores negativos maiores demonstram um maior distanciamento do lençol freático em relação a superfície.

Os dados do nível fluviométrico na área estudada foram obtidos com o auxílio de réguas linimétricas artesanais, que consiste em um cano graduado (cm) ao longo de sua extensão. As réguas linimétricas tinham 1 m de altura e foram fixadas no leito do igarapé, próximas dos piezômetros P1, P2 e P3, foram instaladas as réguas R1, R2 e R3, respectivamente e as leituras foram realizadas de forma visual (Figura 1). O monitoramento das variáveis hidrológicas foi realizado mensalmente, durante 19 meses de novembro de 2017 a setembro de 2019.

Aplicou-se o método da Variação do Nível de Água (VNA), conforme definido por (HEALY et al., 2002). O método VNA utiliza flutuações de níveis de água subterrânea ao longo do tempo para estimar recarga em aquíferos livres (HEALY, 2010). Para quantificar a recarga, é necessário multiplicar a variação do nível de água registrada em um intervalo de tempo pelo volume de poros que podem ser preenchidos pela água (Equação 2). Este volume, denominado rendimento específico do aquífero (S_y), é a razão entre quantidade de água drenada pela gravidade de uma rocha ou solo, após ser saturada, e o seu volume total (BRITO et al., 2020).

$$R = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

(2)

Onde S_y é o rendimento específico (unidade adimensional); Δh (mm) é a variação do nível de água, entendida como a diferença entre o ponto máximo na elevação do nível de água registrado no piezômetro e o ponto no mesmo tempo da curva extrapolada da última recessão; e Δt é o tempo de medição decorrido (dias). Com relação à determinação do S_y , optou-se por utilizar o S_y de 0,17 (TOMASELLA et al., 2008), uma vez que este valor foi testado para o aquífero Alter do Chão em poços na cidade de Santarém-PA, onde foi o menor erro relacionado ao cálculo de recarga episódica, quando comparado aos erros gerados com o uso de S_y de 0,20 e 0,27 (BRITO et al., 2020).

Foi utilizada a análise de variância ANOVA para testar se houve diferença significativa das variáveis entre os pontos e os períodos amostrados, e o teste de Tukey para indicar quais pontos apresentaram diferença significativa entre si. A partir da matriz de dados foi testada a correlação entre as variáveis, par a par. Como, em nenhum dos casos houve normalidade dos dados, foi utilizada a correlação de Spearman

entre a precipitação pluvial e as variáveis régua linimétrica, Nível piezométrico e recarga de água para os três pontos monitorados. As respectivas análises estatísticas e saídas gráficas foram realizadas no software R - versão 4.0.2 (R CORE TEAM, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Precipitação pluvial

Analisando os períodos de monitoramento de precipitação pluvial observamos 0 mm nos períodos de novembro/2017 e de 17/9 a 15/10 de 2018, enquanto, os maiores valores observados foram registrados nas coletas 6 e 17, que foram 510,1 e 520,6 mm, correspondentes as coletas realizadas no mês de março a abril de 2018 e abril a maio de 2019, respectivamente (Tabela 1).

Para a análise da sazonalidade, foram utilizadas 21 coletas, considerando como o período seco as coletas realizadas entre julho e novembro, representadas pela cor vermelha e o período chuvoso de dezembro a junho, representadas pela cor azul (Tabela 1) e foi estabelecido com base em estudos climatológicos realizados em Santarém – PA (OLIVEIRA et al., 2020).

Tabela 1: Precipitação pluvial acumulada por período de coleta registrada na estação meteorológica de Santarém- PA.

Coleta	Data	Dias	Precipitação pluvial(mm)	Sazonalidade
1	24/11/2017	16	0	seco
2	15/12/2017	21	108,2	chuvoso
3	09/01/2018	25	69	chuvoso
4	10/02/2018	32	371,4	chuvoso
5	16/03/2018	34	439,2	chuvoso
6	16/04/2018	30	510,1	chuvoso
7	15/05/2018	29	214	chuvoso
8	14/06/2018	30	196,8	chuvoso
9	16/07/2018	31	113,5	seco
10	16/08/2018	63	138,5	seco
11	17/09/2018	29	147,5	seco
12	15/10/2018	31	0	seco
13	22/01/2019	99	318	chuvoso
14	20/02/2019	29	352,5	chuvoso
15	20/03/2019	29	403	chuvoso
16	22/04/2019	31	470,3	chuvoso
17	20/05/2019	28	520,6	chuvoso
18	20/06/2019	31	238,9	chuvoso
19	19/07/2019	30	46,6	seco
20	20/08/2019	32	53	seco
21	20/09/2019	31	31	seco

O período sazonal da região Norte é determinado localmente como período de inverno (chuvoso) onde o volume de precipitação é elevado, e verão (estiagem) onde a quantidade de chuva é reduzida (AMANAJÁS; BRAGA, 2012; ROSA et al., 2017). Segundo Silva et al. (2016), a precipitação pluvial média anual que ocorre na região de Santarém, no oeste do Pará é de 1920 mm, com maior intensidade no período de inverno que ocorre de dezembro a maio. Marengo et al. (2001), ao estudar as datas de início e fim da estação chuvosa da bacia amazônica e do estado do Pará, respectivamente, chegou a resultados semelhantes, definindo a data de início da estação chuvosa como sendo mais precoce no sul/sudeste da região e mais tardia próxima à foz do Rio Amazonas.

Nascentes hidrográficas amazônicas são influenciadas por chuvas locais com mais frequência

(SANTO, 2009) e a recarga de água de nascentes é influenciada diretamente pela chuva. Neste estudo, verificamos uma variação no volume de chuva ao longo do período analisado (Tabela 1). A variação na quantidade e distribuição temporal da precipitação pluvial afeta diretamente a recarga de águas subterrâneas em aquíferos livres (BRITO et al., 2020). Variações no padrão de chuva, como diminuição no volume, por exemplo, provocadas por fenômenos como o El Niño podem afetar a recarga de água das nascentes. O aumento nos dias sem chuva e a redução da precipitação anual contribuiu para reduzir o total de água armazenada nos aquíferos Alter do Chão e Trombetas na Amazônia (BRITO et al., 2020). Estudos de pequenas bacias hidrográficas fornecem informações importantes sobre as questões hidrológicas e biogeoquímicas desses ecossistemas, contribuindo enormemente para entender o funcionamento do fluxo hidrológico, apresentando alto potencial de gerar previsões para responder às mudanças dos sistemas hidrográficos frente às ações humanas em larga escala (NEILL et al., 2006).

Nível do lençol freático

O nível do lençol freático apresentou diferença significativa entre os poços piezométricos ($F=19,4$; $p=4,3 \times 10^{-7}$). O poço P2 apresentou diferença significativa em relação aos poços P1 ($p=4,9 \times 10^{-5}$) e P3 ($p=7,1 \times 10^{-7}$) (Figura 1 A). O poço P2 apresentou maior amplitude, variação e menor mediana do nível do lençol freático. Vale ressaltar que, quanto menor o nível do freático, mais próximo da superfície do solo ele estará e quanto maior o nível freático, mais distante do solo ele se encontrará. Os poços P1 e P2 apresentaram maior mediana (Figura 1 A).

Houve diferença significativa entre os períodos analisados ($F=4,9$; $p=0,03$), quando avaliado separadamente por poço. Apenas o poço P2 ($F=5,2$; $p=0,04$) apresentou diferença significativa entre os períodos seco e chuvoso (Figura 1 B). A maior amplitude de variação do nível do lençol freático foi observada no período chuvoso, a mediana do nível do lençol freático para o período seco ficou em torno de -48 cm (nível mais distante da superfície) e para o período do chuvoso foi em torno de -35 cm (nível mais próximo da superfície). O nível do lençol freático variou 13 cm entre o período seco e chuvoso na nascente do igarapé do Irurá (Figura 1 B).

A profundidade do lençol freático foi relativamente pequena nos três pontos monitorados na zona ripária da nascente do igarapé do Irurá. Usualmente, a profundidade do lençol freático é pequena perto de corpos permanentes de águas superficiais, como córregos, lagos e pântanos (BRITO et al., 2020). Ressalta-se que a área em que o estudo foi aplicado apresenta um processo de reflorestamento natural, combinando uma mistura de floresta secundária com remanescentes de vegetação primária. Rebolças et al. (2006) argumenta que a porcentagem da concentração de águas no lençol freático depende muito do potencial de absorção e permeabilidade do solo, que é determinada pelo relevo, cobertura vegetal e pelas formas de uso e ocupação do território. Em estudo realizado por Broedel et al. (2017) é enfatizado que a variabilidade da posição do lençol freático pode apresentar intercorrências significativas quanto a manifestação de anomalias de alta intensidade, comprometendo a disponibilidade de água no solo e nos rios. Isto significa que o efeito da diminuição da frequência de chuvas não gera uma diminuição linear na

recarga, pois a recarga também é fortemente associada a fatores físicos intrínsecos ao arcabouço litológico de cada formação e das condições de uso do solo, podendo este efeito ser ainda maior (BRITO et al., 2020). Assim, foi possível verificar que o estado atual de integridade da zona ripária influenciou à disponibilidade e à oscilação do lençol freático ao longo do ano. Ressaltamos que a integridade da nascente e a recarga de água do lençol freático são importantes à manutenção desse ecossistema.

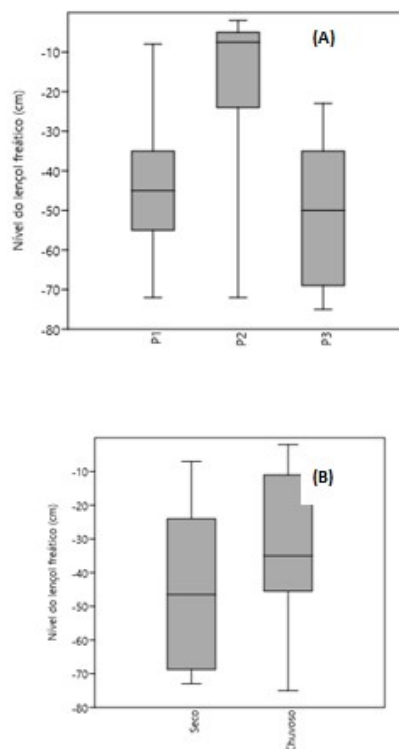


Figura 1: Boxplot da variação do nível do lençol freático em relação ao solo nos pontos amostrados (A) e nos períodos seco e chuvoso (B) na zona ripária da nascente hidrográfica do igarapé Irurá em Santarém-PA. P1, P2 e P3 representam os poços 1, 2 e 3 e Seco e chuvoso representam os períodos sazonais amazônicos analisados.

A posição do lençol freático é bastante variável e dependendo da região a profundidade variará de acordo com as estações do ano, de forma que, no período de estiagem a posição do lençol freático sofre um rebaixamento, ao oposto do período chuvoso, onde essa posição se eleva (Figura 1B). No aquífero Alter do chão que é mais profundo, porém, classificado como livre, em um poço de monitoramento localizado em Santarém-PA houve a variação do nível freático ao longo do ano, mostra a influência da chuva no nível do lençol freático (BRITO et al., 2020). Os resultados encontrados neste estudo corroboram aos encontrados por Silva et al. (2006), onde a evapotranspiração direta, presença de eventos climáticos, sazonalidade anual da precipitação e a pressão barométrica foram agentes influentes no comportamento do fluxo subterrâneo que podem afetar a assimetria das ondas oscilatórias subterrânea.

Ressaltamos que conforme as análises estatísticas o ponto P2 foi o ponto mais representativo da zona ripária, pois este ponto estava em área não alterada, enquanto os pontos P1 e P2 foram instalados em zona ripária ao lado de áreas que apresentavam o represamento da nascente. Observamos o lençol freático mais próximo do solo, com maior variação ao longo do período analisado e com variação sazonal significativa ($p < 0,05$), o nível do lençol freático variou em média 13 cm entre o período seco e chuvoso. Isto indica o quanto o nível do lençol freático é influenciado pela chuva.

Nível Fluviométrico

O nível fluviométrico apresentou diferença significativa entre os pontos ($F=16,02$; $p=3,9 \times 10^{-6}$). Os valores registrados na régua R1 apresentaram diferença significativa em relação aos valores das régua R2 ($p=4,4 \times 10^{-6}$) e R3 ($p=0,0005$). A régua R1 apresentou maior amplitude de variação e maior mediana do nível fluviométrico (45 cm) (Figura 2 A). De maneira geral, as oscilações do nível da coluna d'água, registradas na régua R1 ocorrem por um pequeno represamento existente no início da nascente, cujo fim é a geração de energia elétrica.

Durante o monitoramento a R2 apresentou um menor volume da lâmina d'água, o qual foi o menor nível registrado nas coletas. De maneira geral, a variação deste ponto do igarapé está relacionada ao fechamento da represa, o que compromete o volume da R2. Na R3 observou-se um aumento do volume que foi registrado nas primeiras coletas, em seguida houve uma redução da lâmina d'água e posteriormente o nível se elevou novamente apresentando o seu maior registro com 35 cm (Figura 2A).

Houve diferença significativa entre os valores de nível fluviométrico nos períodos analisados ($F=5,34$; $p=0,02$), quando avaliado separadamente por régua, em que apenas a régua R1 ($F=7,1$; $p=0,02$) apresentou diferença significativa entre os períodos seco e chuvoso (Figura 2 B). A maior amplitude de variação do nível fluviométrico foi observada no período chuvoso, a mediana do nível fluviométrico para o período seco ficou em torno de 25 cm e para o período do chuvoso foi de aproximadamente 32 cm. O nível fluviométrico variou em média 7 cm entre o período seco e chuvoso na nascente do igarapé do Irurá (Figura 2 B).

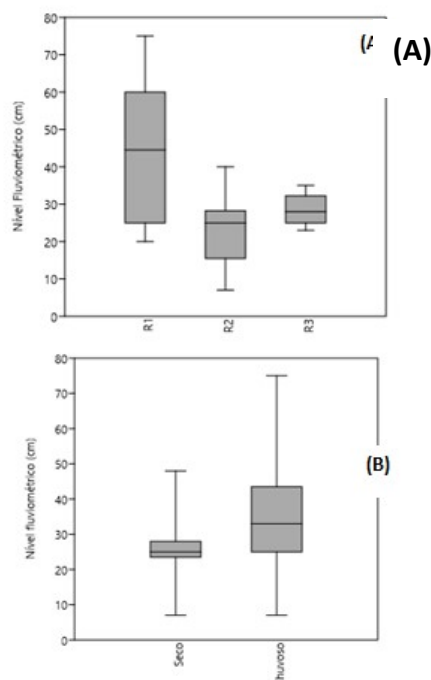


Figura 2: Boxplot da variação do nível fluviométrico nos pontos amostrados (A) e nos períodos seco e chuvoso (B) na nascente hidrográfica do igarapé Irurá em Santarém-PA. R1, R2 e R3 representam as régua fluviométricas 1, 2 e 3 e seco e chuvoso representam os períodos sazonais amazônicos analisados.

Segundo Farjado et al. (2010) o volume da coluna d'água apresenta maior oscilação no período chuvoso equiparado ao período de estiagem, apresentando maior proximidade em relação a superfície. A

condutividade é mais elevada próxima a superfície, fazendo com que a água chegue ao canal, enquanto na estiagem as chuvas infiltram no solo e através da gravidade preenchem as camadas profundas do solo onde a condutividade é baixa, reduzindo as oscilações no nível do igarapé.

Comportamento semelhante relacionado ao nível fluviométrico, foi observado por Macêdo et al. (2013), que verificou que a dinâmica fluvial da bacia tem uma relação com a precipitação. Nesse sentido, neste estudo foi possível captar um pequeno aumento no nível fluviométrico provocado pelo período de chuvas na nascente do igarapé Irurá. Diante disso, vale ressaltar a importância dos dados fluviométricos para estudo, como gerenciamento de bacias hidrográficas, abastecimento público, planejamento de uso dos recursos hídricos e meio ambiente de modo geral.

Foi possível perceber a relação positiva, do efeito do aumento do volume de precipitação e o aumento do nível fluviométrico na nascente hidrográfica. Os cursos d'água de até 3° ordem são considerados igarapés na Amazônia. Estes têm pulsos de variação fluviométrica rápidos, ou seja, imediatamente após o efeito da chuva, depois volta ao nível normal. Resultado semelhante relacionado ao nível fluviométrico, foi observado em igarapés na Amazônia central, na qual constataram que a variação fluviométrica anual é pequena (FARJADO et al., 2010). Ao analisar o nível da lâmina d'água do igarapé, nota-se que eles são característicos dos regimes de chuvas que ocorrem na região amazônica, um período menos chuvoso, de junho a novembro, e outro chuvoso, de dezembro a maio.

Recarga de água na nascente

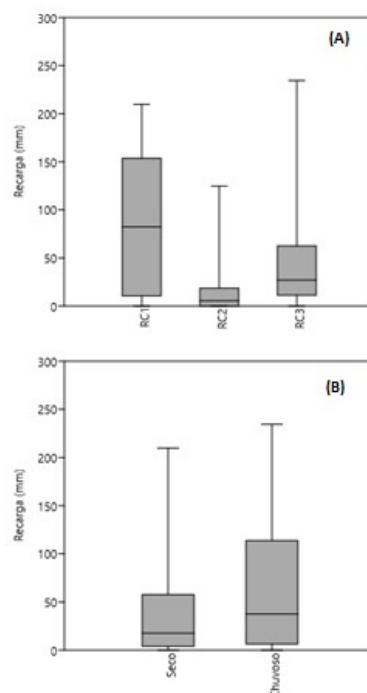


Figura 3: Boxplot da recarga de água nos pontos amostrados (A) e nos períodos seco e chuvoso (B) na nascente hidrográfica do igarapé Irurá em Santarém-PA. RC1, RC2 e RC3 representam as recargas de água 1, 2 e 3 e seco e chuvoso representam os períodos sazonais amazônicos analisados.

A recarga de água apresentou diferença significativa entre os pontos ($F=5,75$; $p=0,005$). Os valores registrados no ponto RC2 apresentaram uma diferença significativa em relação aos valores registrados RC1

($p=0,005$) e RC3 ($p=0,03$), assim, considerou-se apenas os pontos RC1 e RC3 para calcular a recarga média da nascente. A recarga no ponto RC3 apresentou a maior amplitude de variação e a maior mediana de recarga (57 cm) (Figura 3 A). A maior amplitude de variação e mediana de recarga de água (47 mm) foi no período chuvoso. Não houve diferença significativa entre os valores de recarga de água entre o período seco e chuvoso (Figura 3 B).

A recarga média anual para o ano de 2018 na nascente foi de 22% (546,6 mm) para uma precipitação anual de 2518 mm e para o ano de 2019 foi de 28% (676 mm) para uma precipitação anual de 2434 mm. Comparando este estudo com os valores de recarga média anual para os aquíferos Alter do Chão e Trombetas a recarga foi de 35% (572 mm) para uma precipitação anual de 1647 mm, e 24%, ou seja, 473 mm de 1954 mm precipitados (BRITO et al., 2020). Notamos que valores de recarga de água anual encontrados neste estudo para nascente do Irurá estão próximos aos de aquíferos livres e profundos da Amazônia.

Correlação entre a precipitação pluvial e recarga de água na nascente

Houve correlação significativa ($p<0,05$) entre algumas variáveis hidrológicas estudadas e podemos destacar, o nível fluviométrico (R1, R2, R3) com o nível do lençol freático (P1). A precipitação pluvial foi correlacionada positivamente com o nível fluviométrico registrado na régua R1 ($R^2=0,54$; $p=0,02$) (Figura 4A), e correlacionada negativamente com nível do lençol freático registrado nos poços P1 ($R^2 = -0,56$; $p=0,01$) (Figura 4B) e P2 ($R^2 = -0,77$; $p=0,002$) (Figura 4C).

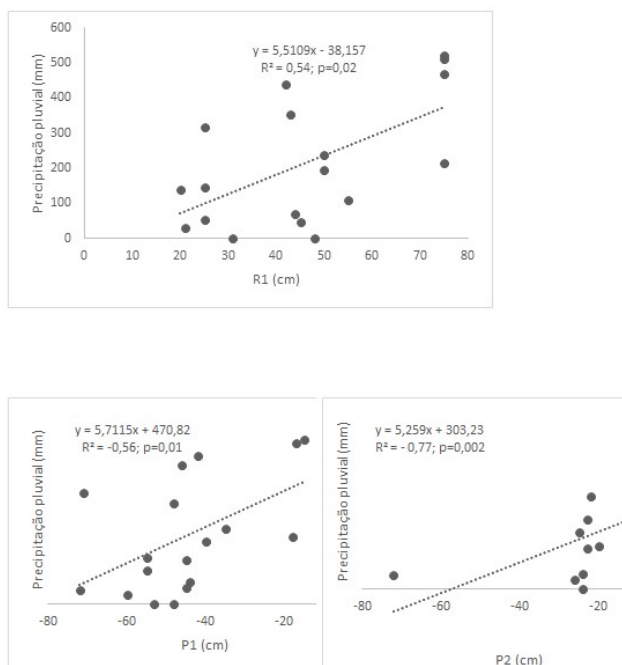


Figura 4: Correlação significativa ($p<0,05$) entre a precipitação pluvial e o nível fluviométrico registrado nas régua linimétricas R1(A); com o nível do lençol freático registrado nos poços P1(B) e P2(C) coletadas na nascente hidrográfica do igarapé Irurá em Santarém-PA.

Apenas o nível do fluviométrico registrado na régua R1 apresentou correlação significativa com os valores de precipitação. Neste ponto R1, ocorre um pequeno represamento existente no início da nascente,

cujo fim é a geração de energia elétrica. Este fato pode ter auxiliado no armazenamento da água da chuva e por isso uma correlação significativa. Visto que os outros pontos monitorados, o nível fluviométrico R2 e R3, ficam a jusante do ponto R1 e são pontos influenciados pela chuva e pela abertura ou fechamento da barragem, o que deve ter influenciado para este resultado. Na Amazônia as chuvas locais aumentam os níveis dos igarapés e inundam o vale adjacente por apenas algumas horas, dias ou por um tempo menor (SANTO et al., 2009). Nos igarapés amazônicos de terra-firme, que não são influenciados pelo pulso de inundação dos grandes rios, o volume de água nos igarapés não varia gradualmente e previsivelmente, conforme observado nos grandes rios, mas está relacionado a pulsos de inundação em escala de tempo muito menor e com maior frequência (SIOLI, 1984; WALKER, 1995).

O nível freático dos poços P1 e P2 foram capazes de captar as variações correlacionadas com a precipitação local. Padrões de comportamento interanuais do nível freático correlacionam-se com a variabilidade observada para a precipitação (BRITO et al., 2020).

Durante o período de 22 meses de monitoramento foi possível observar que no período chuvoso o nível fluviométrico ficou em média 36 cm e no período seco baixou para 26,4 cm, com uma diferença entre os períodos de 9,8 cm (Figura 5A e 5B). Com relação ao nível do lençol freático médio registrado no período chuvoso foi de -31 cm mais próximo do solo, e no período seco ocorre um rebaixamento do nível freático para -44 cm (diferença de -13 cm) (Figura 5A e 5B). A recarga de água na nascente do igarapé Irurá no período chuvoso foi de 22% (905,6 mm) e no período seco de 63% (334,9 mm), mostrando que mais de 60% da chuva que cai no período de estiagem é utilizada para recarregar a nascente (Figura 5A e 5B).

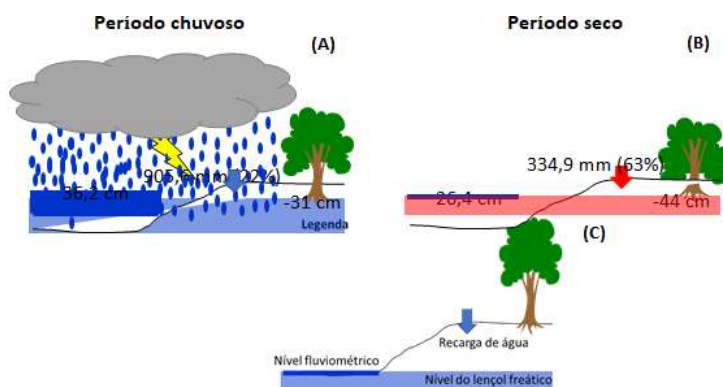


Figura 5: Distribuição média das variáveis hidrológicas coletadas na nascente hidrográfica do igarapé Irurá em Santarém-PA para o período chuvoso (A); período seco (B) e legenda das variáveis monitoradas (C); valores obtidos no local de estudo.

A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que a distribuição da precipitação pluviométrica na nascente da microbacia do Irurá tem influência direta na dinâmica fluvial da área de drenagem da bacia. Os resultados demonstram que o nível, onde o lençol freático fica mais raso com relação ao nível do solo possui relação com o período chuvoso e o represamento da nascente, essa característica indica que a água subterrânea infiltrada efetivamente abastece este nível freático e proporciona sua variabilidade. Campos et al. (2020), identificaram que cerca de 89,3% da precipitação fica disponível à recarga de água subterrânea da nascente do Irurá e apenas 10,2 % é interceptado pela floresta e retorna à atmosfera, representando um importante papel para a hidrologia da área, tanto por possibilitar que um volume elevado de água retorne

à atmosfera, como por minimizar o aumento do escoamento superficial urbano. Assim, podemos inferir que o ciclo de chuvas tem relação direta com o nível de água do lençol freático do poço. As maiores precipitações e menores profundidades do nível do lençol freático foram verificadas na estação úmida nos ecossistemas de florestas (ANDRADE et al., 2008).

Ressalta-se que a área em que o estudo foi aplicado apresenta um processo de reflorestamento natural que se mantém progressivo ao longo de 45 anos, combinando uma mistura de floresta secundária com remanescentes de vegetação primária. Essa característica possibilita a presença de indivíduos arbóreos diferentes na área, dessa forma o entrelaçamento entre galhos e os tipos de folhagem contribuem para que o fluxo de escoamento ocorra com maior eficiência, aumentando a contribuição de água dentro da floresta. Isso também significa dizer que o processo de interceptação não ocorre apenas nas copas das árvores, mas também abaixo, redistribuindo mais lentamente a água da chuva em direção ao solo (CAMPOS et al., 2020).

A recarga de água avaliada neste estudo demonstrou que no período chuvoso, apesar de receber um maior volume de chuvas (905,6 mm), somente 22% das chuvas que caem nesse período recarregam a água subterrânea da nascente do igarapé Irurá, a maior parte, fica disponível para escoamento superficial e vazão, isso se dá pela presença maior de zonas saturadas no solo na área da nascente. Enquanto, no período seco, apesar de receber um volume menor, apenas 334,9 mm, cerca de 60% das chuvas que caem são utilizadas para recarga de água subterrânea da nascente do Igarapé Irurá. O processo de reflorestamento natural que se mantém progressivo ao longo de 45 anos, combinando uma mistura de floresta secundária com remanescentes de vegetação primária favorecem a recarga de água e a manutenção da nascente.

De maneira geral, o método VNA foi eficiente à estimativa de recarga em um lençol freático livre e raso da nascente do igarapé Irurá. A recarga média anual para o ano de 2018 na nascente foi de 22% e para o ano de 2019 foi de 28%. Comparando com os valores encontrados neste trabalho com os obtidos por Brito et al. (2020) constatou-se uma semelhança. Neste estudo, utilizou-se o mesmo método, VNA e Sy, e os resultados obtidos para o aquífero Alter do Chão, Santarém-PA, foi de 24%. Assim, utilizando o método VNA e adotando o valor de sy de 0,17 encontramos resultados semelhantes a recarga de água anual de aquíferos livres e profundos na Amazônia. Brito et al. (2019), usando o método VNA para o aquífero Alter do Chão em região de floresta, na reserva florestal Adolpho Ducke, Manaus-AM estimou um valor de recarga em torno de 40% para o ano de 2013 e 32% para o período de 2014 – 2015. Valores diferentes de Sy pode ter conduzido a uma superestimativa dos valores de recarga, fato que demonstra a sensibilidade do referido método para a variável Sy (BRITO et al., 2020). Valores maiores de recarga, em torno de 60%, encontrados no período seco neste estudo, pode ser explicado por Brito et al., (2020), que registraram que em anos de atuação do fenômeno El Niño, onde localmente há uma redução das chuvas, houve um aumento da recarga de água subterrânea. A taxa de recarga foi de 508mm (36%) de um total precipitado de 1415mm em 2014-2015. No período de 2015-2016, houve uma precipitação de 1111mm e a taxa de recarga foi de 415mm (47%). No aquífero Alter do Chão, Santarém-PA houve um acréscimo de 1% da taxa

de recarga entre os períodos, embora o período 2015-2016 tenha precipitado 304mm a menos em comparação a 2014-2015 (BRITO et al., 2020).

CONCLUSÃO

A profundidade do lençol freático foi relativamente pequena e a variação sazonal do nível fluviométrico foi similar aos resultados de igarapés amazônicos de terra-firme nos três pontos monitorados na zona ripária da nascente do igarapé do Irurá. O método VNA foi eficiente para a estimativa de recarga em um lençol freático livre e raso da nascente do igarapé Irurá. A recarga média anual para o ano de 2018 na nascente foi de 22% e para o ano de 2019 foi de 28%. No período chuvoso foi de 22% (905,6 mm) e no período seco de 63% (334,9 mm), mostrando que mais de 60% da chuva que cai no período de estiagem é utilizada para recarregar a nascente.

A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que a distribuição da precipitação pluviométrica na nascente da microbacia do Irurá tem influência direta na dinâmica fluvial da área de drenagem da bacia. Os resultados demonstram que o nível, onde o lençol freático fica mais raso com relação ao nível do solo possui relação com o período chuvoso e o represamento da nascente. Esta característica indica que a água subterrânea infiltrada efetivamente abastece este nível freático e proporciona sua variabilidade.

O processo de reflorestamento natural que se mantém progressivo ao longo de 45 anos, combinando uma mistura de floresta secundária com remanescentes de vegetação primária favorecem a recarga de água e a manutenção da nascente.

O acompanhamento das flutuações da água subterrânea, portanto, é fundamental por propiciar instrumentos de gestão dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais, tendo em conta que as variações acarretam alterações na disponibilidade de água às florestas e à sociedade, assim como disponibiliza informações para contribuir na tomada de decisões e possível gerenciamento adequado e estratégico das águas superficiais e subterrâneas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. M.. Os impactos da drenagem superficial de águas pluviais na infraestrutura de trechos de vias do perímetro urbano do município de Santarém, Pará, Brasil. *Revista Geonorte*, Amazonas, v.11, n.37, p.175-194, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21170/geonorte>

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C.. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. *Revista Brasileira Meteorologia*, São Paulo, v.27, n.4, p.423-434, 2012, DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862012000400006>

ANDRADE, N. L. R.; SANCHES, L.; PINTO JÚNIOR, O. B.; DIAS, C. A. A.; NOGUEIRA, J. S.. Macro-nutrientes no lençol freático em Floresta Intacta, Floresta de Manejo e Pastagem no norte de Mato Grosso. *Revista Acta Amazônica*, Manaus, v.38, n.4, p.667-671, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000400009>

AVANZI, J. C.. **Modelagem do escoamento superficial e erosão hídrica em uma microbacia hidrográfica na região**

dos Tabuleiros Costeiros. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

BRASIL. **Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012**. Institui o novo Código Florestal. Brasília: DOU, 2012.

BRITO, A. P.; WAHNFRIED, I.; FERREIRA, S. J. F.; BASTOS, J. H.. **Análise comparativa entre métodos de estimativa de recarga para uma microbacia na Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus-AM**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2019.

BRITO, A. P.; TOMASELLA, J.; WAHNFRIED, I. D.; CANDIDO, L. A.; MONTEIRO, M. T.; FILGUEIRAS, S. J. F.. Relação entre precipitação e recarga de águas subterrâneas na Amazônia Central. *Revista Brasileira de Águas Subterrâneas*, São Paulo, v.34, n.1, p.39-49, 2020. DOI:

BROEDEL, E.; TOMASELLA, J.; CÂNDIDO, L. A.; RANOW, L. A.. Deep soil water dynamics in an undisturbed primary forest in central Amazonia: differences between normal years and

the 2005 drought. **Hydrology Processes**, v.31, n.9, p.1749-1759, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.11143>

CAMPOS, M. M. N.; SOUSA, M. S.; RIBEIRO, B. O.; OLIVEIRA, L. L.. Interceptação em uma floresta ripária secundária urbana em Santarém- PA, Amazônia, Brasil. **Revista Ciência e Natura**, Santa Maria, v.42, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X40478>

COSTA, A. C. L.; UCHOA, P. W.; SILVA JUNIOR, J. A. S.; CUNHA, A. C.; FEITOSA, J. R. P.. Variações termohigrométricas e influências de processo de expansão urbana em cidade equatorial de médio porte. **Brazilian Geographical Journal**, Ituiutaba, v.4, n.2, p.615-632, 2013.

SANTO, H. M. V. E.; MAGNUSSON, W. E.; ZUANON, J.; MENDONÇA, F. P.; LANDEIRO, V. L.. Seasonal variation in the composition of fish assemblages in small Amazonian Forest streams: evidence for predictable changes. **Freshwater Biology**, v.54, p.536-548, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02129>

FAJARDO, J. D. V.; FERREIRA, S. J. F.; MIRANDA, S. A. F.; MARQUES FILHO, A. O.. Características Hidrológicas do Solo Saturado Na Reserva Florestal Adolpho Ducke - Amazônia Central. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.4, p.677-684, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000400012>

FREITAS, M. A.; SCHIETTI, J.. **Protocolo de Instalação de Piezômetros em locais com nível freático pouco profundo (Área Sazonalmente Encharcada)**. 2015.

HEALY, R. W.; COOK, P. G.. Using ground-water levels to estimate recharge. **Hydrogeology Journal**, v.10, p.10, p.91-109, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10040-001-0178-0>

HEALY, R. W.. **Estimating groundwater recharge**. Cambridge: Hydrogeology Journal, 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados do Estado do Pará**. IBGE, 2021.

LANNA, A. E. L.. Hidroeconomia. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G.. **Águas Doces no Brasil**. São Paulo: Academia Brasileira de Ciências e Escrituras, 2002, p.531-562.

MACÊDO, M. N. C.; DIAS, H. C. T.; COELHO, F. M. G.; ARAÚJO, E. A.; SOUZA, M. L. H.; SILVA, E.. Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. **Revista AmbiÁgua**, Taubaté, v.8, n.1, p.206-221, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.809>

MARENGO, J. A.; LIEBMANN, B.; KOUSKY, V. E.; FILIZOLA, N. P.; WAINER, I. C.. Onset and End of the Rainy Season in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v.14, n.5, p.833-852, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1175/15200442\(2001\)014<0833:OAEOTR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/15200442(2001)014<0833:OAEOTR>2.0.CO;2)

NEILL, C.; ELSENBEER, H.; KRUSCHE, A. V.; LEHMANN, J.; MARKEWITZ, D.; FIGUEIREDO, R. O.. Hydrological and biogeochemical processes in a changing Amazon: results from small watershed studies and the large-scale biosphere-atmosphere experiment. **Revista Hydrological Processes**, v.20, p.2467-2476, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.6210>

OLIVEIRA, L. L.; BARRETO, N. J. C.; JESUS, E. S.; CANANI, L. G.

C.. Efeitos dos eventos extremos climáticos na variabilidade hidrológica em um rio de Ecossistema Tropical Amazônico. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, Aracajú, v.11, n.4, p.145-153, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.004.0013>

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G.. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3 ed. São Paulo: Escrituras, 2006.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020.

RODRIGUES, V. A.; Recuperação de nascentes em microbacias da cuesta de Botucatu. **R. Árvore**, Viçosa, v.29, n.5, p.775-793, 2006.

SILVA, A. C.; RIBEIRO, B. R.; OLIVEIRA, L. L.; MORTATI, A. F.; MOURA, E. R.. Instrumentos de baixo custo para monitoramento hidrológico em áreas úmidas de uma nascente em Santarém- PA, Amazônia, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁREAS ÚMIDAS, 4. **Anais**. Brasília, 2018.

SANTOS, G. P.; OLIVEIRA, L. L.; FERNANDES, G. S. T.; SANTOS, I. I.; ALMEIDA, R. M.; MOURA, E. R. S.. Qualidade Hidrológica e Ambiental de uma Microbacia Urbana de Abastecimento Público de Água na Amazônia Brasileira. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, Aracajú, v.11, n.4, p.154-168, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-858.2020.004.0014>

SILVA, I. B. B.; PINTO, A. P. A.; MORTATI, A. F.; OLIVEIRA, L. L.. Caracterização hidrológica e ambiental de uma pequena bacia do baixo Rio Tapajós (AM). **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, Aracajú, v.9, n.6, p.14-27, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.006.0002>

SILVA, M. A. G.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. M.; SILVA, N. F. C.; SANTOS, F. C. V.; UCKER, F. E.. Caracterização pluviométrica de Santarém-PA, Brasil. **Revista eletrônica de educação da faculdade Araguaia**, n.10, p.112-120, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n71p713>

SILVA, P. A. D.; LOUREIRO, C. O.. Pequenas variações piezométricas nas águas subterrâneas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14. **Anais**. Curitiba: CIETEP, 2006.

SIOLI, H.. **The Amazon: Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin**. Dordrecht: Springer, 1984.

STEWART, B.. Measuring what we manage: the importance of hydrological data to water resources management. **Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences (PIAHS)**, França, v.366, n.366, p.80-85, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5194/piahs-366-80-2015>

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. D.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C.. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Revista Ambi-Água**, Taubaté, v.7, n.2, p.120-142, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.905>

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 behaviour**. 2008.

TUCCI, C. E. M.. **Programa de drenagem sustentável**: apoio ao desenvolvimento do manejo das águas pluviais urbanas: Versão 2.0. Brasília: Ministério das Cidades, 2008.

TUCCI, C. E. M.. **Hidrologia**: Ciência e Aplicação. 4 ed. Porto Alegre: ABRH, 2009.

TUCCI, C. E. M.. **Hidrologia**: Ciência e Aplicação. 4 ed. ABRH, 1993.

TUNDISI, J. G.. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Revista Cienc. Cult.** São Paulo, v.55, n.4, 2003.

TUNDISI, J. G.. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Revista Cienc. Cult.**, São Paulo, v.55, n.4, p.31-33, 2003.

WAKODE, H. B.; BAIER, K.; JHA, R.; AZZAM, R.. Impact of urbanization on groundwater recharge and urban water balance for the city of Hyderabad, India. **International Soil and Water Conservation Research**, v.6, p.51-62, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.10.003>

WALKER, I.. **Amazonian streams and small rivers**. Rio de Janeiro: Brazilian Academy of Sciences, 1995.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.