

## BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E ÍNDICE DE ARIDEZ PARA MANAUS, AMAZONAS

Juarez Cassiano de Lima Junior<sup>1</sup>, Francisco Dirceu Duarte Arraes<sup>2</sup>, Anna Hozana Francilino<sup>3</sup>

**RESUMO:** O objetivo do trabalho foi caracterizar as precipitações pluviométricas e estimar o balanço hídrico climatológico para o município de Manaus, Amazonas. Foram utilizados dados de precipitação pluviométrica disponibilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia, de 1961 até 2019. Para o cálculo da evapotranspiração de referência foi utilizada a equação de Penman Monteith, O balanço Hídrico climatológico foi calculado como preconizado por Thorntwaite e Mather (1948), considerado uma capacidade de água disponível no solo de 100 mm. A média, por vicênios, de chuva para Manaus foi de 2008; 1707 e 1993 mm, para 1960-70; 1980-90 e 2000-10, respectivamente. Manaus possui pequeno déficit hídrico nos primeiros meses do ano e com excesso iniciando no mês de maio e durando o ano todo. Nos três vicênios o Índice de Aridez foi calculado acima de 1,0; indicando clima úmido.

**PALAVRAS-CHAVE:** Floresta tropical, demanda hídrica atmosférica, irrigação

## CLIMATE WATER BALANCE AND ARIDITY INDEX FOR MANAUS, AMAZONAS

**ABSTRACT:** The objective of the work was to characterize rainfall and estimate the climatological water balance for the municipality of Manaus, Amazonas. Rainfall data provided by the National Meteorological Institute from 1961 to 2019 were used. To calculate the reference evapotranspiration, the Penman Monteith equation was used. The climatological water balance was calculated as recommended by Thorntwaite and Mather (1948), considered a water capacity available on the ground of 100 mm. The average, by vicennia, of rain for Manaus was 2008; 1707 and 1993 mm, for 1960-70; 1980-90 and 2000-10, respectively. Manaus has a small water deficit in the first months of the year and an excess beginning in May and lasting throughout the year. In the three vicennians, the Aridity Index was calculated above 1.0; indicating humid climate.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará - Doutorando em Engenharia Agrícola (Programa de pós graduação em engenharia agrícola) - limajr.soil@gmail.com;

<sup>2</sup> Doutor em Ciência (Física do Ambiente Agrícola – ESALQ-USP). Professor do Instituto Federal do Sertão Pernambucano (IFSERTÃO-PE) - campus Salgueiro;

<sup>3</sup>Mestre em Engenharia Agrícola (Universidade Federal Rural do Pernambuco - UFRPE)

**KEYWORDS:** Tropical forest, atmospheric water demand, irrigation

## INTRODUÇÃO

O Balanço Hídrico Climatológico (BHC), desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1948), é uma excelente ferramenta para estimativa da disponibilidade hídrica de uma região, seu cálculo se faz essencial para a delimitar e classificar zonas com chance de desertificação. Além disso, partindo do cálculo do BHC, é possível realizar o planejamento agropecuário e planejamento de produção rural, conhecendo variações no clima e melhor época de produção (PASSOS et al., 2018).

A evapotranspiração (ET) das florestas tropicais recicla uma grande parcela das chuvas nos trópicos e contribui substancialmente para a assimilação de carbono. Apesar do reconhecimento importância desta variável, os padrões da ET em florestas tropicais ainda não são totalmente compreendidos (MOREIRA & RUHOFF, 2019).

Assim, o objetivo deste trabalho foi constatar se existe alterações importantes no BHC, com normais climatológicas de três períodos distintos, nas décadas: i) 1960 e 1970; ii) 1980 e 1990; iii) 2000 e 2010, utilizando os dados da série histórica de 1961 até 2019, da estação meteorológica convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

## MATERIAL E MÉTODOS:

O presente trabalho foi realizado utilizando dados climatológicos, mensais, de uma estação pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada em Manaus, no estado do Amazonas (latitude: -3,10°; longitude: - 60,01°), Antonio (2017) aponta o clima local, pela classificação climática de Köppen como do tipo AF, (clima tropical chuvoso). Dados estes: Precipitação pluviométrica (P), insolação (Ins), velocidade do vento ( $u_2$ ), temperaturas máxima, média e mínima do ar ( $T_x$ ,  $T_m$  e  $T_n$ ) e umidade relativa do ar (UR).

O balanço Hídrico climatológico foi calculado como preconizado por Thornthwaite & Mather (1948). Para o cálculo da Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) ao longo do ano em Manaus - AM, foi utilizada a equação 1, padronizada pela FAO, Penman-Monteith. A FAO recomenda esta equação após resultados satisfatórios em mais de 2000 estações localizadas em diversos climas (ALLEN et al., 1998; XIANG et al., 2020).

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + \gamma \left( \frac{900}{T_m + 273,16} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

Em que:

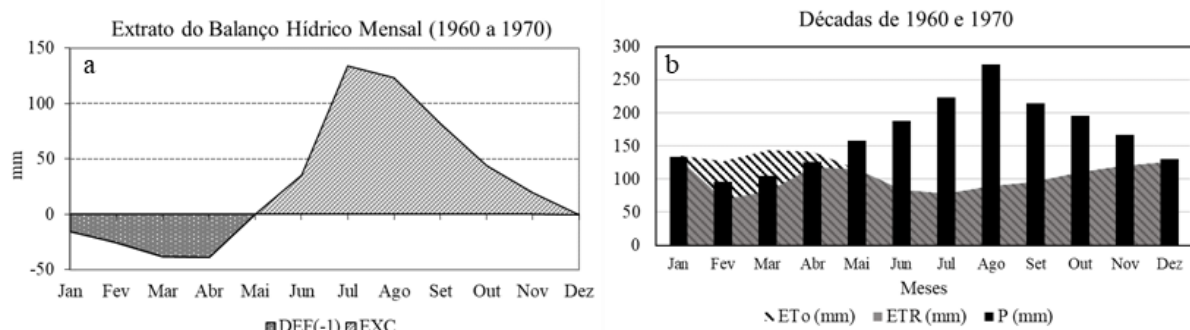
$ET_o$  é a evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ ),  $R_n$  é a radiação líquida total e  $G$  é a densidade de fluxo de calor na superfície do solo ( $\text{MJ m}^2 \text{dia}^{-1}$ ),  $e_s$  é a pressão de saturação de vapor do ar,  $e_a$  é a pressão de vapor do ar atual,  $\Delta$  é a declividade da curva de pressão de vapor e  $\gamma$  é a coeficiente psicrométrico, (todos em  $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ).

Ainda, foi calculado o Índice de Aridez (IA) =  $(P/ET_o)$ , que relaciona a quantidade de chuva com a potencialidade de evaporação de água de uma região, o valor IA indica as classes climáticas, com valores maiores de 1,00 para úmido; entre 0,65 até 1,00 para subúmido; entre 0,50 e 0,65 para subúmido seco; de 0,20 até 0,50 para semiárido; de 0,05 até 0,20 para árido e menor que 0,05 para hiperárido.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Para as décadas de 1960 e 1970 foi obtido valor médio mensal de  $ET_o = 113 \text{ mm}$ , com média mensal de  $P = 167 \text{ mm}$ ; e com valores médios anuais de  $P$  e  $ET_o$  de 2008 e 1367 mm, respectivamente, sendo o maior valor de chuva e menor valor de evapotranspiração, nas três décadas avaliadas, segundo Antonio (2017) a média anual de chuva com dados de 1971-2015, de uma estação pertencente a Embrapa Amazônia Ocidental, é de 2627 mm.

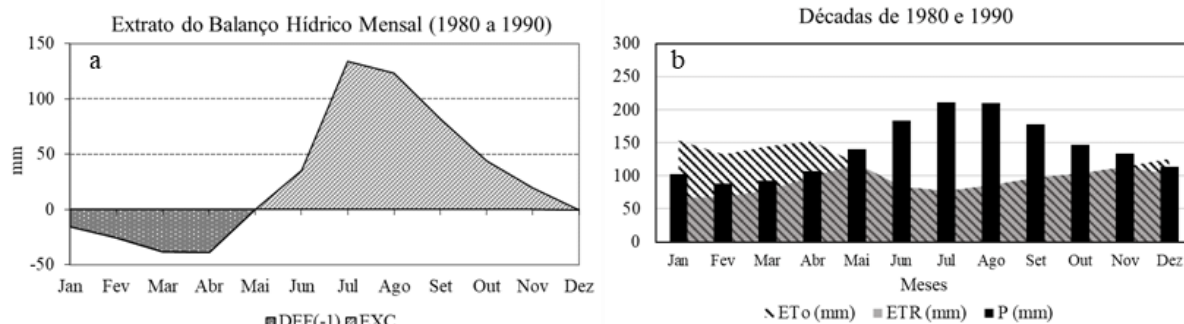
Valores de precipitação pluviométrica acima da média são registrados de junho a outubro, com valor máximo de 273 mm para agosto. As alturas pluviométricas registradas começam a se elevar a partir de março, o que resulta num excedente hídrico iniciando-se no mês de maio (figura 1a). Nota-se uma boa distribuição de chuvas, com valores superiores 100 mm em praticamente todos os meses, com exceção de fevereiro = 96 mm, (figura 1b).



**Figura 1.** Extrato (a) e Balanço Hídrico Climatológico (b) para o município de Manaus, Amazonas com normais climatológicas das décadas de 1960 e 1970.

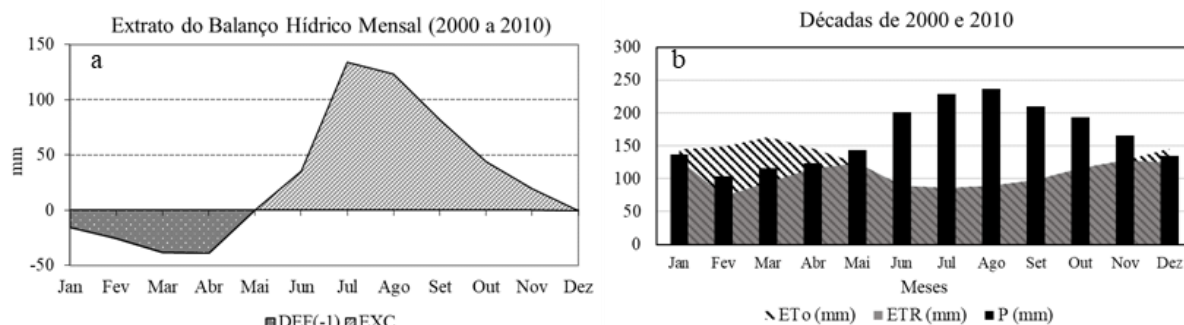
Já para as décadas de 1980 e 1990, o valor mensal médio de  $ET_o$  foi de 115 mm, com média mensal de  $P = 142 \text{ mm}$ ; e com valores médios anuais de  $P = 1707$  e  $ET_o$  de 1388 mm. Mesmo com valores médios de chuva menores do que os ocorridos no período anterior (1960-

70), o excedente hídrico começa no mesmo período, no mês de maio (figura 2a). Valores de chuva superiores à média ocorreram de junho a outubro, com valor máximo de 210 mm em julho (figura 2b).



**Figura 2.** Extrato (a) e Balanço Hídrico Climatológico (b) para o município de Manaus, Amazonas com normais climatológicas das décadas de 1980 e 1990.

Com dados mais recentes, para as décadas de 2000 e 2010, o valor mensal médio de ETo foi o mais elevado (123 mm), com média mensal de P = 166 mm; já os valores médios anuais de P e ETo foram de 1993 e 1478 mm, respectivamente. Mais uma vez o excedente hídrico começa no mesmo período, no mês de maio (figura 3a). Com valores de chuva superiores à média ocorrendo de junho a outubro, com valor máximo de 210 mm, desta vez para o mês de setembro (figura 3b).



**Figura 3.** Extrato (a) e Balanço Hídrico Climatológico (b) para o município de Manaus, Amazonas com normais climatológicas das décadas de 2000 e 2010.

Nas três décadas avaliadas, a classificação segundo o IA sempre permaneceu como clima úmido, com valor de 1,47; 1,23 e 1,35, para os períodos de 1960-70; 1980-90 e 2000-10, respectivamente. Mesmo com a maior quantidade de chuva média ocorrendo em 1960-70, a sua evapotranspiração real (ETR) de 1218 mm, não foi a maior, sendo que as décadas de 2000-10 obtiveram valor de ETR = 1270 mm, enquanto 1980-90 o ETR foi de 1095 mm.

Uma ETR maior, mesmo com uma quantidade menor de chuva, poderia indicar um aumento no poder evapotranspirativo do ar, sendo que para tal afirmação torna-se fato, se faz necessária uma análise de tendência climática. Assim, somente com base nos resultados obtidos

no presente trabalho, possivelmente não houve alterações importantes na dinâmica do BHC durante o período de dados avaliados, com valores médios semelhantes nos três vicênios.

Observando os resultados de ETo e P (figuras 1b, 2b e 3b), nota-se que quanto menor a quantidade de chuva do período, maior a taxa de evapotranspiração. A maior quantidade de chuva indica uma maior quantidade de nebulosidade, assim, uma diminuição da incidência de radiação e aumento da umidade relativa. Este comportamento também foi observado por Silva et al. (2020), os autores afirmam citando Santos et al. (2016), afirmando que esses fenômenos são inversos, por via de regra, à medida que um aumenta o outro diminui.

Para explicação da variabilidade anual das normais climatológicas em Manaus, Antonio (2017) conclui que as anomalias que ocorrem no oceano pacífico têm influência, o autor diz que quanto maior o tempo de oscilação positiva no pacífico (El Niño), menor a quantidade de chuva na região.

Sobretudo, quando comparado o BHC realizado pelo autor citado anteriormente com o do presente trabalho, nota-se uma discrepância importante: segundo Antonio (2017), em todas as análises realizadas, o excedente hídrico ocorre no começo do ano, ainda indicando o mês de setembro como o de maior seca. Não corroborando com o presente trabalho, em que foi notado que esse é um dos meses com umas das maiores ocorrências de P. Tal comparação abre discussão para qualidade e quantidade de dados, bem como localização da estação meteorológica e sua representatividade espacial e temporal.

Salientando ainda mais a importância da qualidade dos dados, Silva et al. (2020), realizando BHC para o município de Manicoré, mesorregião sul do estado do Amazonas, afirmam que o período mais seco ocorre no período do inverno dessas discrepâncias, meses com maior quantidade de chuva para Manaus, o local do estudo citado possui média de ETo anual de 1604 mm, com valor máximo para o mês de agosto (157 mm) e mínima para julho (117 mm).

## **CONCLUSÕES**

De acordo com os três períodos avaliados, o BHC para o município de Manaus possui características bem definidas, com pequeno déficit hídrico nos primeiros meses do ano e com excesso iniciando no mês de maio e durando o ano todo. Nos três vicênios o Índice de Aridez foi calculado acima de 1,0; indicando clima úmido.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56**. FAO, p. 300, 1998.

ANTONIO, I. C. Influência do el niño nos eventos climáticos extremos e balanço hídrico do solo em Manaus. In: **Embrapa Amazônia Ocidental-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 20.; SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, Embrapa Semiárido: Univasf, 2017., 2017.

MOREIRA, A. A.; RUHOFF, A. L. Padrões de evapotranspiração na Amazônia. **XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos** (ISSN 2318-0358), 2019.

PASSOS, M. L. V.; SOUZA, J. B. C.; MENDES, T. J. Balanço hídrico e classificação climática para o município de Turiaçu - MA. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido** [online], v. 14, 2018.

SANTOS, A. P. P.; ARAGÃO, M. R. S.; CORREIA, M. D. F. S. S.; RODRIGO Q. D.; SILVA, F. D. D. S.; ARAÚJO, H. A. D. Precipitação na Cidade de Salvador: Variabilidade Temporal e Classificação em Quantis. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 454-467, 2016.

SILVA. P. A. M; QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; DA SILVA QUERINO, J. K. A.; BENTOLILA, L. B. V.; SANTOS SILVA, P. C. dos. Balanço hídrico climatológico e classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955) para o município de manicoré, na mesorregião sul do amazonas. **Irriga**, v. 25, n. 3, p. 641-655, 2020.

THORNTHWAITE, C.W., An Approach toward a Rational Classification of Climate. **Geog. Rev**, v. 38, p. 55–94, 1948.

XIANG, K.; LI, Y.; HORTON, R.; FENG, H. Similarity and difference of potential evapotranspiration and reference crop evapotranspiration—a review. **Agricultural Water Management**, v. 232, p.106043, 2020.