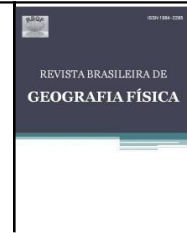




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Risco agroclimático: Impacto da variabilidade dos episódios de seca sobre a produção do açaí (*euterpe oleracea mart.*) na Amazônia oriental

Bergson Cavalcanti Moraes¹, Giordani Rafael Sodré², Aline Meiguins Lima³, João de Athaydes Silva Junior⁴, João Batista Miranda Ribeiro⁵

¹Professor no Programa de Pós-graduação em Gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia, Instituto de Geociências-Universidade Federal do Pará, e-mail bcmoraes@gmail.com (correspondente)

²Professor no Programa de Pós-graduação em Gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia, Instituto de Geociências-Universidade Federal do Pará e-mail: giordani@ufpa.br

³Professora no Programa de Pós-graduação em Gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia, Instituto de Geociências-Universidade Federal do Pará e-mail: ameiguins@ufpa.br

⁴Professor no Programa de Pós-graduação em Gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia, Instituto de Geociências-Universidade Federal do Pará e-mail: athaydes@ufpa.br

⁵Professor na Faculdade de Meteorologia da UFPA e-mail jbmr@ufpa.br

Artigo recebido em 31/01/2023 e aceito em 06/06/2023

RESUMO

O açaí é atualmente um dos produtos florestais mais apreciados, sendo a região Norte o maior produtor nacional, com cerca de 98% da produção do país. Regionalmente essa elevada produção está concentrada na mesorregião do nordeste paraense, nos municípios de Igarapé-Miri, Cametá, Abaetetuba, Bujaru e Portel, que em conjunto representam 62,7% da produção do estado. Diversos estudos apontam que a Amazônia tem enfrentado alterações significativas no clima, especificamente no aumento temporal da estação seca e na sua intensidade, enquanto a precipitação tornou-se mais intensa durante a estação chuvosa. O presente trabalho tem como objetivo de caracterizar a variabilidade climática, os períodos e a intensidade da seca da região de Igarapé-Miri. Para caracterizar a dinâmica temporal da seca na região foram utilizados o Déficit Potencial de Água (DEF) e o Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado (SPEI). Foi observada uma grande variabilidade no clima da região, com valores de precipitação anual que variam de 1900 a 3200 mm, com apenas 28% da precipitação anual ocorrendo no 2º semestre. As maiores frequências de DEF ocorreram entre 25 e 75 mm/mês, enquanto o SPEI indicou períodos de secas moderadas a severas, sendo que para um cenário de clima futuro, essas condições possuem potencial de cerca de 9% na DEF e a ausência de períodos úmidos no segundo semestre na região, indicando que a Amazônia já pode ter entrado em um novo regime de clima mais quente e variável.

Palavras-chave: Igarapé-Miri. Precipitação. Seca.

Agroclimatic risk: Impact of the variability of drought episodes on the production of açaí (*euterpe oleracea mart.*) in the eastern Amazon

Abstract

Açaí is currently one of the most appreciated forest products, with the North region being the largest national producer, with about 98% of the country's production. Regionally, this high production is concentrated in the northeastern mesoregion of Pará, in the municipalities of Igarapé-Miri, Cametá, Abaetetuba, Bujaru and Portel, which together represent 62.7% of the state's production. Several studies indicate that the Amazon has faced significant changes in climate, specifically in the temporal increase of the dry season and also in its intensity, while precipitation has become more intense during the rainy season. This work aims to characterize the climate variability, periods and intensity of drought in the Igarapé-Miri region. To characterize the temporal dynamics of the drought in the region, the Potential Water Deficit (DEF) and the Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index (SPEI) were used. Great variability was observed in the region's climate, with annual precipitation values ranging from 1900 to 3200 mm, with only 28% of annual precipitation occurring in the 2nd half. The highest DEF frequencies occurred between 25 and 75 mm/month, while the SPEI indicated periods of moderate to severe droughts, and for a future climate scenario, these conditions have a potential of around 9% in the DEF and the absence of periods in the second half of the year in the region, indicating that the Amazon may already have entered a new warmer and more variable climate regime.

Keywords: Igarapé-Miri. Rainfall. Drought.

Introdução

O açaí é atualmente um dos produtos Amazônicos mais apreciados no Brasil. Segundo o IBGE (2021), de 2006 para 2016, a quantidade extraída de açaí cresceu 113%, saindo de 101,3 mil toneladas para 215,4 mil. Na Amazônia brasileira, o estado do Pará concentra a maior produção do fruto, correspondendo com cerca de 98% da produção nacional.

Regionalmente essa elevada produção está concentrada na mesorregião nordeste paraense, nos municípios de Igarapé-Miri, Cametá, Abaetetuba, Bujaru e Portel, que em conjunto representam 62,7% da produção do estado. O destaque é o município de Igarapé-Miri, que sozinho caracteriza-se como o maior produtor nacional, que a partir de 2018, passou a produzindo mais 400 mil toneladas por ano (Tavares et al., 2022).

A planta de açaí (*Euterpe oleracea Mart.*), em seu local de origem, a Amazônia, por apresentar elevado consumo hídrico nos seus estágios fenológicos de pré-floração, floração, fruto verde, fruto preto e maturação, que oscila em torno de 1.000 mm no total, desenvolve-se em ambientes sujeitos a inundações intermitentes (Sousa et al., 2021; Lourindo et al., 2023).

A dependência de um alto volume hídrico para seu desenvolvimento faz com o que o Açaí seja totalmente influenciado pela variação climática, principalmente relacionado a variabilidade pluviométrica. Segundo Sousa (2022) é possível que as palmeiras sejam mais sensíveis às secas extremas do que as árvores, dadas suas características anatômicas particulares e sua preferência por ambientes mais úmidos, de modo que a redução da disponibilidade de água em secas extremas aumente suas taxas de mortalidade

Buscando entender a variabilidade de alguns parâmetros climáticos na Amazônia Silva et al. (2019) analisou todas a mesorregiões da Amazônia, observando que no nordeste paraense está apresentando redução do número de dias consecutivos de precipitação além do aumento da frequência de dias mais quentes.

Dias Pinto et al. (2022) ressalta que cidades amazônicas localizadas às margens de rios são mais vulneráveis a ocorrência de secas meteorológicas, devido a vazante intensa dos rios proporcionarem grandes transtornos nas atividades de transporte fluvial, pesca e produção agrícola (agricultura

familiar), podendo ocasionar sérios impactos sociais e econômicos.

Pesquisas recentes indicam que os eventos climáticos extremos nos últimos anos incluem três fortes secas em uma década (Marengo et al., 2008; Marengo et al., 2011; Marengo et al., 2016; Duffy et al., 2015; Jiménez-Muñoz et al., 2016; Erfanian et al., 2017, Brito et al., 2022)

A precipitação e a temperatura do ar representam duas importantes variáveis meteorológicas para as atividades de manejo agrícola, pois é por meio delas que são identificados o período e a duração das secas meteorológicas, sendo possível determinar épocas de plantio, manejo do solo e da irrigação, colheita, produtividade entre outros. A caracterização da variabilidade dessas variáveis em termos quantitativos e percentuais, nas escalas anuais e mensais, constituem relevante ferramenta estratégica para as tomadas de decisões agrícolas, além do uso sustentável dos recursos naturais.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo de caracterizar a variabilidade climática, os períodos e a intensidade da seca meteorológica da região de Igarapé-Miri e avaliar a projeção do clima futuro para detectar possíveis mudanças na produção de Açaí em face as mudanças climáticas.

Material e métodos

Igarapé-Miri é um município do estado do Pará que pertence a Mesorregião do Nordeste Paraense, distante 78,5 km em linha reta da capital Belém (Figura 1). É conhecido como a "Capital Mundial do Açaí", por ser o maior produtor e exportador do fruto no mundo, título confirmado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em estudo divulgado no ano de 2017.

Possui uma área territorial de 1.996,790 km², com uma população estimada em 63.367 pessoas e uma densidade demográfica 29,08 habitantes/km².

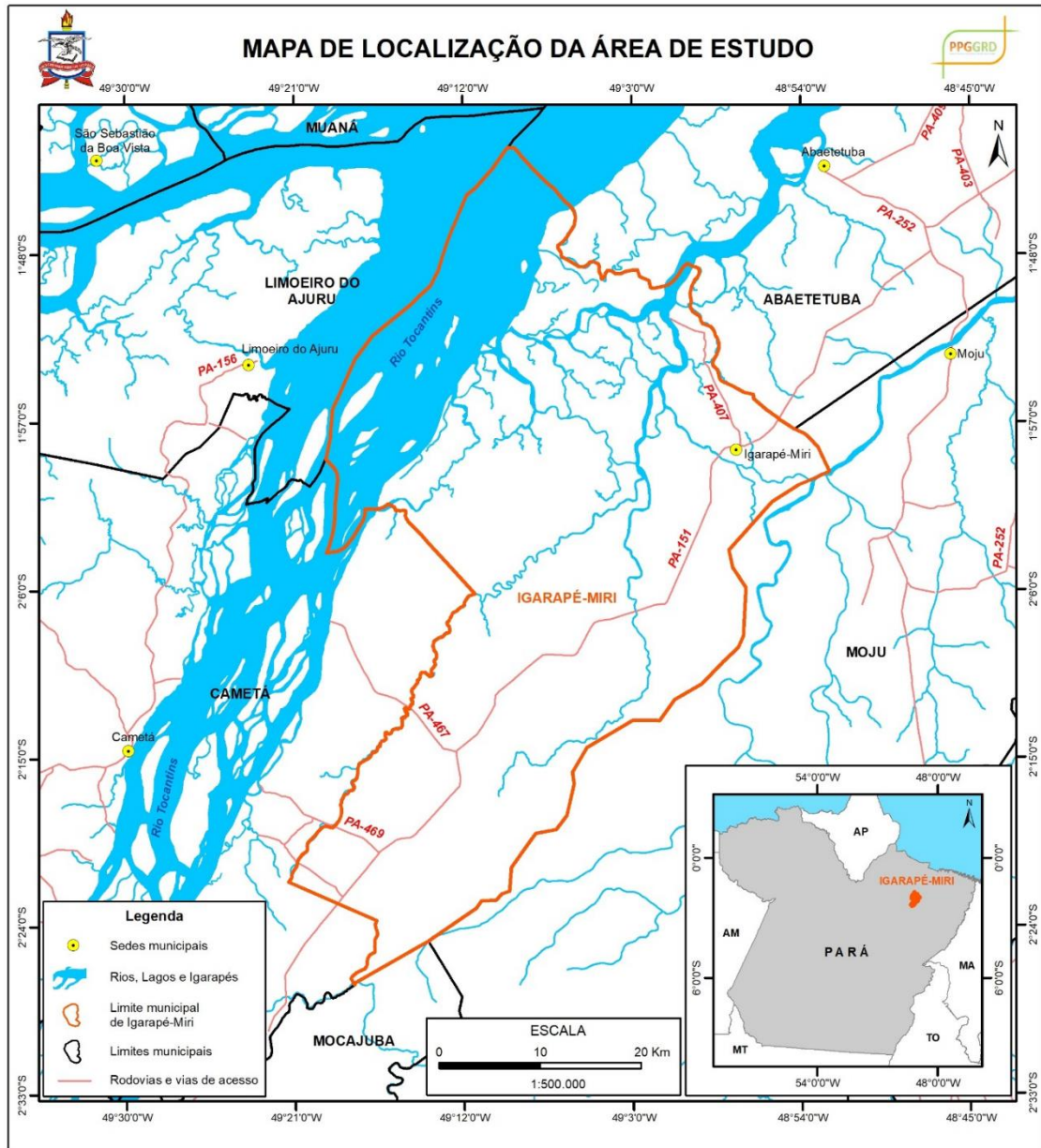


Figura 1. Localização geográfica do município de Igarapé-Miri. Fonte: Ferreira (2023).

Dados precipitação (prp)

Foi utilizada a base de dados do Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations- CHIRPS, do Grupo de Risco Climático da Universidade de Santa Bárbara na Califórnia, que consiste em um conjunto de dados formado por diversas fontes de informações, que são: (I) The Climate Hazards Group's Precipitation Climatology (CHPClim); (II) Observações de satélites com espectroscopia de infravermelho termal (Thermal Infrared, TIR), geoestacionárias quase globais da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Centro de Previsão Climática (CPC) e o National Climatic Data Center Climáticos (NCDC); (III) Campos de Precipitação do Coupled Forecast System da

NOAA, versão 2 (CFSv2); (IV) Diversas observações de precipitação através de produtos de estações meteorológicas e outros serviços regionais, estes dados são amplamente utilizados em estudo na região Amazônia devido sua resolução espacial (Funk et al., 2015; Costa et al., 2019; Gomes et al., 2022).

A principal característica desse conjunto de dados está na alta resolução espacial de aproximadamente 5 km, próximo ao equador, cobertura geográfica global de 50°S a 50°N, com o período de dados iniciando em 1981 e se estendendo até os dias atuais, sendo disponibilizado em UCSB (<ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/>), em formato NetCDF, GeoTiff e Esri

BIL, nas resoluções temporais diários, pentadais, mensais e anuais.

Temperaturas do ar (Tx, Tn e Tm)

Os dados de temperatura do ar, máxima (Tx), mínima (Tn) e média (Tm) foram obtidos junto ao European Centre for Medium Range Weather Forecast Reanalysis (ERA5), que pertence ao European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF). O ERA5 fornece estimativas de hora em hora de um grande número de variáveis climáticas atmosféricas, terrestres e oceânicas. Os dados cobrem a Terra em uma grade de 30 km e resolvem a atmosfera usando 137 níveis da superfície até uma altura de 80 km.

Os dados de temperatura do ar e umidade relativa utilizados nesta pesquisa possuem resolução temporal horária (a cada 3 horas) e resolução espacial de 0,25° (aproximadamente 27 km), compreendo o período de 1985 a 2020. Os dados do ERA5/ECMWF são públicos e estão disponíveis em: (<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5/>).

Metodologia

Déficit potencial de água (DEF)

O DEF é caracterizado como o produto da subtração entre a PRP e a Evapotranspiração de referência (ETo). Para os cálculos da ETo, obtida através do método de Thornthwaite (1948), são utilizadas as equações abaixo:

$$ETo_{(Th)} = 16 \left(10 \frac{T_i}{I}\right)^a, \quad 0 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_i \leq 26 \text{ }^\circ\text{C} \quad (1)$$

$$ETo_{(Th)} = -415,85 + 32,24T_i - 0,43T_i^2, \quad T_i > 26 \text{ }^\circ\text{C} \quad (2)$$

em que, ETo_(Th) é a evapotranspiração de referência (mm.mês⁻¹), T_i é a temperatura do ar média mensal (°C) e I é o índice térmico imposto pelo regime climático local, calculado por:

$$I = \sum_{n=1}^{12} (0,2T_i)^{1,514}, \quad T \geq 0 \text{ }^\circ\text{C} \quad (3)$$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} I + 0,49239 \quad (4)$$

em que, i representa o mês do ano (i=1, janeiro; ...; i=12, dezembro).

As Equações 1 e 2 fornecem a evapotranspiração para a condição padrão de meses com 30 dias e dias com 12 horas de brilho solar. Para obter a evapotranspiração diária, multiplica-se

o valor obtido através das Equações 1 ou 2 pelo seguinte fator de correção (Pereira *et al.*, 1997):

$$C = \frac{N}{12} \cdot \frac{1}{30} \quad (5)$$

em que, N é o fotoperíodo (h) de determinado dia.

O fotoperíodo é calculado em função da latitude do locale da declinação solar, através da seguinte equação (VAREJÃO- SILVA, 2006):

$$N = \frac{2}{15} \omega_s \quad (6)$$

em que, N é o fotoperíodo (h) e ω_s é o ângulo horário relativo ao nascer ou ao pôr do sol.

Índice de precipitação e evapotranspiração padronizado (SPEI)

O SPEI foi desenvolvido por Vicente-Serrano *et al.* (2010a) como um índice de seca aperfeiçoado especialmente para estudo que levem em consideração o aquecimento global ou com relação as severidades dos eventos de secas (Beguería *et al.*, 2014).

A metodologia proposta pelo índice utiliza os parâmetros abióticos geradores de secas, incluindo além da precipitação a influência da temperatura do ar através dos cálculos da evapotranspiração potencial-ETP, aumentando dessa forma a sensibilidade das quantificações hídricas em relação ao método do índice padronizado de precipitação-SPI (Vicente-Serrano *et al.*, 2010b).

Basicamente o SPEI pode ser caracterizado como um balanço hídrico, sendo o produto final o resultado da diferença entre os ganhos hídricos, pela precipitação, e os totais hídricos perdidos pelos processos evaporativos e de transpiração (Stagge; Tallaksen, 2014).

O processamento de cálculo do SPEI inicia com a realização da diferença entre os dados mensais de precipitação e de evapotranspiração da região de estudo. Posteriormente é computada as somas das médias móveis destas diferenças, em escalas temporais que podem variar de 1 a 24 meses.

Na sequência computacional é realizado o ajuste das somas móveis de cada escala de tempo para uma distribuição de três parâmetros, sendo que para este estudo foi adotada a distribuição generalizada de valores extremos (GEV), conforme recomendado por Stagge *et al.* (2015).

Finalmente, é multiplicada a função GEV acumulada pelo inverso da distribuição normal, tornando a série de dados do SPEI com média zero em uma distribuição gaussiana, com valores positivos em períodos úmidos e negativos em períodos secos. As categorias do SPEI são apresentadas na **Tabela 1**.

Tabela 1. Categorias do SPEI, segundo Vicente-Serrano et al. (2010a)

SPEI	Categorias	SPEI	Categorias
≥ 2	Extremamente úmido	-1 a -1,49	Seca moderada
1,5 a 1,99	Muito úmido	-1,5 a -1,99	Seca severa
1 a 1,49	Umidade moderada	≤ -2	Seca extrema
-0,99	Normal		

Resultados e discussão

Precipitação

A precipitação anual (Figura 2(a)) apresentou uma média de 2739 mm, com períodos extremos máximos oscilando em torno de 3200 mm e mínimos de 1900 mm. Os anos de 2019 e 1991-1992 apresentaram os valores mais extremos da série de dados, de 3500 mm e 1612 mm, como consequência dos efeitos dos mecanismos

climáticos oceano/atmosfera La Niña e El Niño, respectivamente.

A temperatura do ar (Figura 2(b)) apresentou valores médios oscilando em torno de 27°C, com valores máximos em torno de 34°C e mínimos em torno de 22°C. Também foi observado que os padrões tendem a variar em anos de El Niño e La Niña, períodos em que os valores mínimos chegaram a 22°C, em 1982-1983 e máximos de 36,26°C em 2010.

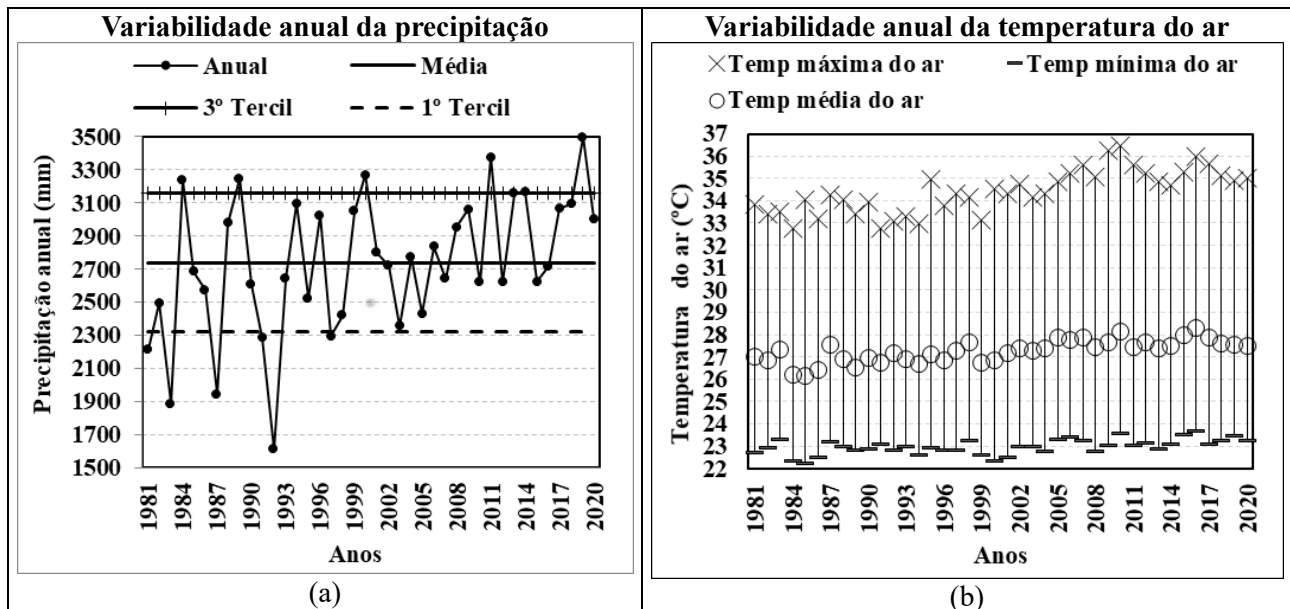


Figura 2. Variação temporal anual da precipitação (a) e temperatura do ar (b), máxima (xis), média (círculo) e mínima (traço) na região de Igarapé Miri.

A região apresenta dois períodos sazonais bem distintos de precipitação (Figura 3(a)). O primeiro semestre é caracterizado como chuvoso e responde por 72% das precipitações anuais, podendo esse percentual variar de 57% até 87%, em anos como o de El Niño e La Niña, respectivamente. O período sazonal mais seco, estabelecido no segundo semestre, representa apenas 28% das precipitações anuais. Em anos mais secos esses valores podem chegar a apenas 13% das precipitações anuais, o que pode representar potencial risco para as atividades agrícolas.

Lopes et al. (2021) afirma que na Amazônia a presença dos eventos de El Niño e La Niña, alteram a precipitação, temperatura e a pressão atmosférica afetando a todo o sistema socioeconômico da região.

Segundo Carlos et al. (2021) A agricultura enfrenta grandes desafios, principalmente nos cultivos de sequeiro que dependem de águas pluviais para garantir a produção anual. Além da sazonalidade, existem anos climaticamente adversos, alterando o volume, a intensidade e a periodicidade no regime de chuvas ao longo do ano.

Ainda segundo Carlos et al. (2021) as alterações como veranicos no período chuvoso e prolongamento do período seco são exemplos de eventos que reduzem os estoques de água no solo e podem comprometer safras agrícolas. Lopes et al. (2020) mostra a importância da análise da variabilidade pluviométrica sazonal na Amazônia oriental e a influência dos episódios do ENOS (El Niño Oscilação Sul).

Neste contexto a precipitação mensal (Figura 3 (b)) apresentou elevada variação ao longo

do ano. Os meses mais chuvosos são os de fevereiro, março e abril, com valores médios de 392, 428 e 380 mm respectivamente. Em anos de condições favoráveis esses valores podem chegar a 500 mm/mês, em março. Os meses menos chuvosos são os de setembro, outubro e novembro, com valores médios de 100, 97 e 87 mm, respectivamente. Esses valores podem ser reduzidos a 63, 58 e 23 mm em períodos de El Niño.

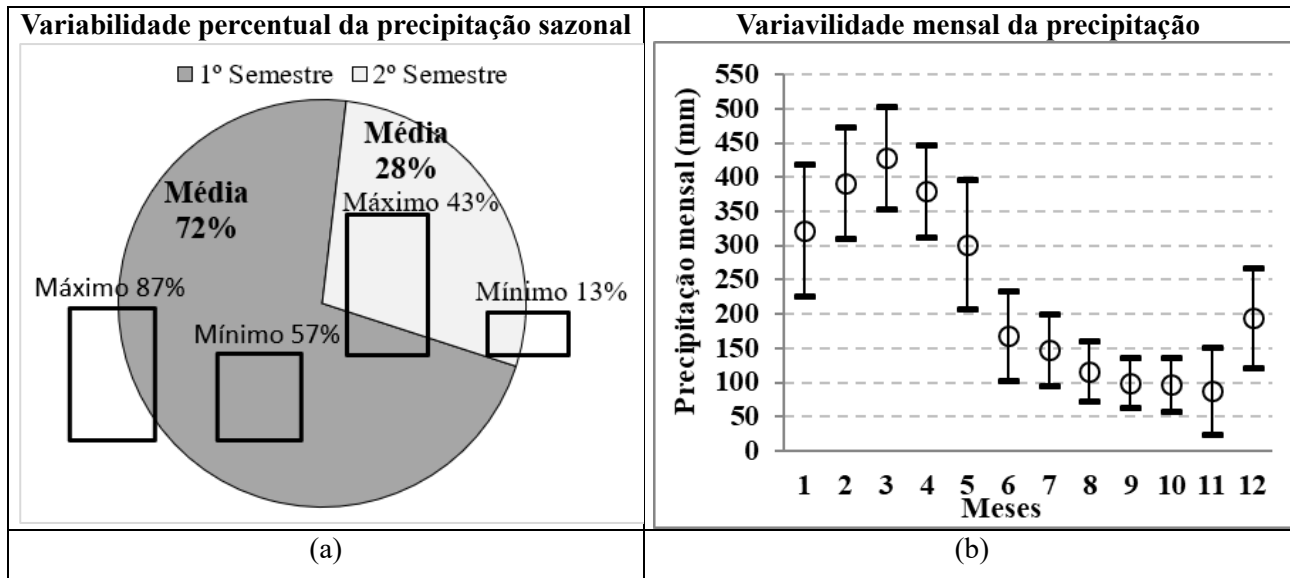


Figura 3. Variabilidade sazonal (a) e mensal (b) da precipitação na região de Igarapé Miri.

Temperatura do ar

Embora a variável temperatura do ar próxima à superfície não apresente alta variabilidade espaço/temporal, ao longo do território amazônico, estudos voltados à esta questão são importantes para analisar a influência nos diversos setores da sociedade (Souza et al., 2017; Masuda et al., 2020), além de impactar na biodiversidade, como na produção primária bruta de florestas e principalmente na produção agrícola (Garcia et al., 2018; Mendez et al., 2021; Marengo et al., 2022).

Assim, a variação mensal da temperatura máxima média do ar oscila entre 30 e 33°C, enquanto as temperaturas mínimas média do ar oscilam entre 22°C e 23,5°C ao longo do ano (Figura 4(a)). As temperaturas máximas do ar são observadas no período sazonal do segundo semestre, sendo os meses de setembro, outubro e novembro os responsáveis por apresentarem os maiores valores, oscilando em torno de 33,5°C, e podendo alcançar o valor extremos de 36°C em anos como o de 2010, período de El Niño. As temperaturas extremas máximas possuem elevado

potencial interveniente nas atividades agrícolas, impactando diretamente as culturas devido favorecerem as perdas hídricas no solo e vegetal (Figura 4 (b)).

Da Silva Melo et al. (2021) analisou a produtividade de açaí na região amazônica, a pesquisa indicou que área onde a temperatura do ar média oscila entre 25°C com precipitação total acima de 2 000mm/ano apresenta a condição ótima para o desenvolvimento do Açaí.

Contudo, a partir de 26 °C de média e precipitação abaixo de 2000 mm/ano as populações de açaizeiros também são densas e têm bom desenvolvimento, porém com menor produtividade de frutos (Villachica et al., 1998; Da Silva Melo et al. 2021).

Assim, considerando a atual variabilidade da temperatura do ar, as condições climáticas estão com tendência a uma provável redução na produção, uma vez que a temperatura média do Município de Igarapé-Miri tem oscilado entre 26 e 28°C (Mello et al. 2021).

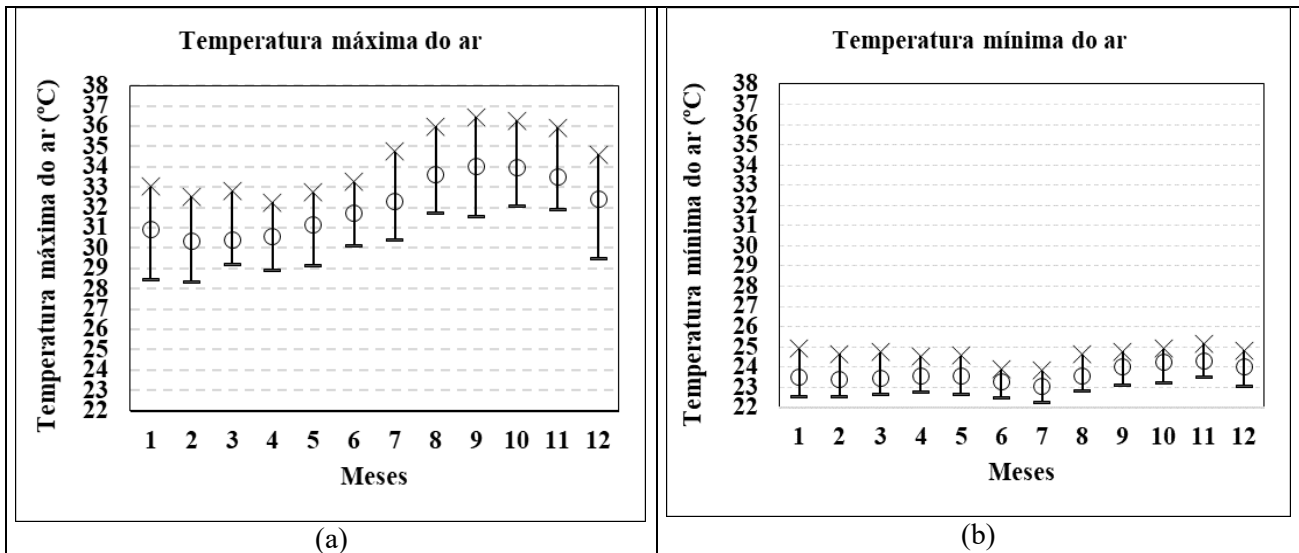


Figura 4. Variabilidade mensal da temperatura máxima (a) e mínima (b) do ar na região de Igarapé Miri.

Déficit Hídrico

A avaliação da deficiência hídrica na região foi realizada em relação as frequências mensais da DEF e do SPEI, no período seco (2º semestre) (Tabela 2). Foram observados que as maiores deficiências hídricas corresponderam a um valor de 100 mm, com apenas 3,75% de frequência ao longo da série de dados. As maiores frequências, cerca 32%, representaram um pequeno valor de deficiência hídrica de 25 mm.

Em relação ao SPEI, a região apresentou nove períodos de secas extremas, cerca de 3,7% de frequência, 12 períodos de secas severas (5%) e 35 períodos de secas moderadas (14,6%), resultando em um total de 23,3% períodos secos. Os períodos de neutralidade representaram 35,8% de frequência, cerca de 86 períodos, enquanto os períodos úmidos representaram 40% da série de dados.

Segundo Lopes et al. (2022) a produção de Açaí é influenciada pelas variáveis agroclimáticas,

onde o período de maior precipitação e menor temperatura do ar a espécie *Euterpe oleracea* emite maior número de inflorescências. Moraes et al. (2019) comparam duas formas de cultivo, com e sem irrigação, e verificaram que, quando cultivada sem irrigação, a umidade do solo foi a característica física com maior influência na produtividade de frutos.

Para Da Silva et al. (2020) a explicação para este fato é que o estresse hídrico afeta o crescimento e o desenvolvimento das mudas, devido a diminuição da expansão celular que o estresse ocasiona, tal comportamento pode ter ocorrido devido ao estresse hídrico que, quando severo pode levar a diminuição de defesa na planta, reduzindo o crescimento, a adaptabilidade e tolerância ao estresse hídrico, que são estratégias intrínsecas às diferentes espécies.

Tabela 2. Frequências mensais de DEF e SPEI no período seco

DEF(mm)	Absoluta	Relativa (%)	SPEI	Absoluta	Relativa (%)
-200	0	0	-3	0	0,0
-150	0	0	-2,5	1	0,4
-100	9	3,7	-2	8	3,3
-75	18	7,5	-1,5	12	5,0
-50	21	8,7	-1	35	14,6
-25	78	32,5	0	86	35,8
>0	114	47,5	>0	98	40,8

Projeções Futuras

Além da variabilidade climática, conforme explicitado nesta pesquisa, outros estudos apontam, ao longo das últimas décadas a duração da estação seca e sua intensidade aumentaram, enquanto a precipitação tornou-se mais intensa durante a estação chuvosa (Hilker et al., 2014; Gloor et al., 2015).

Os impactos desses cenários descritos acima tendem a ser negativos para a cultura do açaí. As plantas de *Euterpe oleraceae* que são submetidas a deficiência hídrica na fase inicial de crescimento tendem a desenvolver menos em termos de massa, altura, diâmetro de coleto, entre outros parâmetros, e conseqüentemente as novas gerações (mudas) originarão plantas adultas com menor vigor no seu desenvolvimento, com provavelmente menor produção de frutos e palmito (Mar et al., 2013; Moraes et al., 2019; Da Silva et al., 2020; Lopes et al., 2022).

Calbo e De Moraes (2000), estudando os efeitos da deficiência de água em mudas de açaizeiro com quatro meses de idade, observaram pequenas reduções na condutância estomática, transpiração e fotossíntese a partir do décimo dia do interrompimento da irrigação, e que o estresse hídrico foi severo apenas após 61º dia consecutivo sem irrigação.

Estes autores acima citados complementam ainda que, em relação aos valores dos potenciais osmóticos do açaí, esta espécie possui mecanismos de adaptação a um estresse hídrico moderado, o que é típico de espécies mesófitas. Entretanto, nessas condições as produções das massas secas de raízes, folhas, folíolos, ráquis, pecíolo e bainha, foram afetadas negativamente, tendo uma produção em torno de 40% menor em relação ao tratamento testemunha que não passou por estresse hídrico.

As projeções futuras do clima para as próximas décadas (2020-2049), simuladas pelos modelos do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, IPCC (2021), reportadas em seu sexto relatório (AR6), indicam para a região de estudo um aumento de até 1,5°C na temperatura do

ar e redução das precipitações em torno de 15% no segundo semestre, tendo como base as premissas socioeconômicas SSP3-7.0, que também potencializam um aquecimento médio do globo de 4,5°C de temperatura do ar.

Baseado nessas condições futuras citadas anteriormente, foram realizados novos processamentos nos cálculos da DEF e do SPEI. Os resultados obtidos indicaram um incremento negativo nos valores da DEF e do SPEI, conforme ilustrado na Figura 5.

Foi observado que a DEF apresentou aumento em seus valores mensais, no segundo semestre, com valores médios oscilando entre -5 a -60 mm/mês, com extremos podendo chegar a aproximadamente -140 a -160 mm/mês. Tais condições futuras representam uma mudança em torno de 9% em comparação as condições atuais de DEF. O SPEI apresentou condições semelhantes em termos percentuais, nos períodos de secas do índice (negativos), porém observou-se uma diminuição de 16% nos períodos úmidos propostos pelo índice (positivos), com valores médios do índice não ultrapassando de zero.

Essas mudanças são consistentes com as previsões baseadas em modelos (Duffy et al., 2015), que apontam que a região já experimenta temperaturas de 0,5°C superiores as décadas anteriores e simulam um aumento superior a 2°C na temperatura do ar nos próximos anos, o que implica que a Amazônia já pode ter entrado em um novo regime de clima mais quente e variável.

Para Wunderling, (2022) a região amazônica, região nativa do açaí, já pode ser identificada como um elemento de inflexão do clima e pode estar em perigo de se aproximar ou ultrapassar seu ponto de inflexão, sendo que essa transgressão de tal ponto de inflexão em escala local poderia, por exemplo, ser causada pela diminuição dos volumes médios de precipitação ou pelo aumento dos períodos de seca, além da severidade de secas extremas

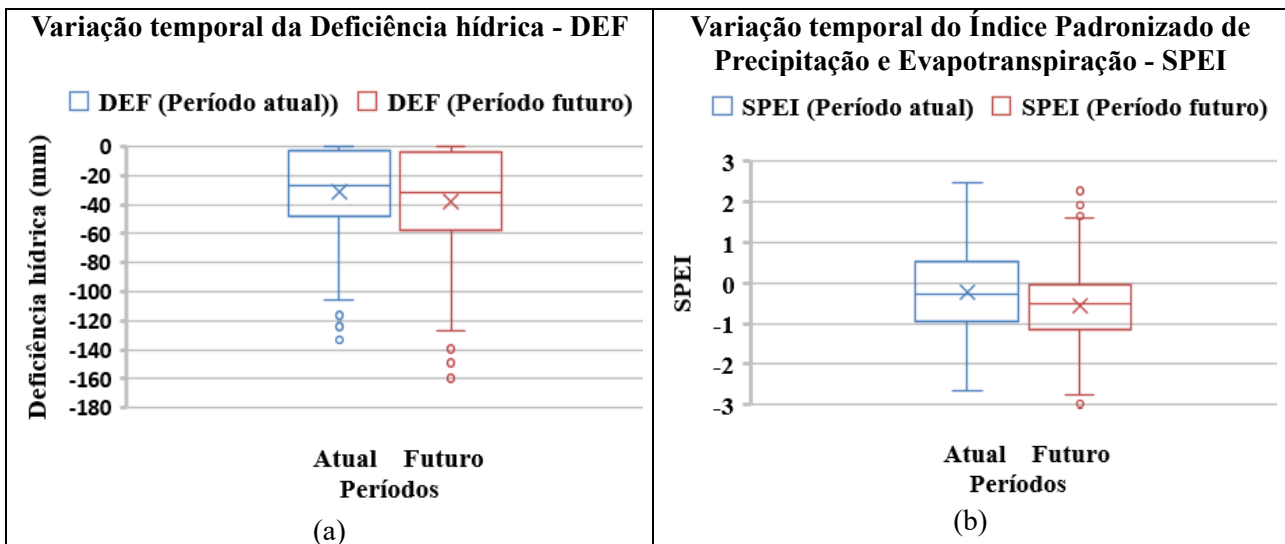


Figura 5. Variação temporal da DEF (a) e SPEI (b) entre os períodos atual (1981-2020) e futuro (2020-2049) com base do IPCC-AR6 SSP3-7.0.

Scalon et al. (2011) afirmam que a deficiência hídrica severa diminui o crescimento e a produção de biomassa verde e seca das plantas. Outro estudo, Oliveira et al. (2014) mostraram que uma possível explicação para este fato é que o estresse hídrico afeta o crescimento e o desenvolvimento das mudas, devido a diminuição da expansão celular que o estresse ocasiona.

Santos (2021) pesquisou acerca da produtividade e dois plantios de açaí, um com irrigação e outro de sequeiro, os resultados de produtividade demonstram bem a relação entre a disponibilidade hídrica no solo para o açaizeiro e o aumento de produção de frutos, o tratamento irrigado (TI), houve acréscimo de produtividade de 5,56 toneladas/ha e 7,04 toneladas/ha, respectivamente para o 7º e 8º de produção, enquanto o tratamento sequeiro (TS) apresentou para o mesmo período, valores 30% inferiores de, respectivamente, 3,69 t ha⁻¹, 4,44 t ha⁻¹. Em média a diferença de produtividade entre os tratamentos foi 35,40%

Esse incremento produtivo reflete em maior receita e, conseqüentemente gera maior lucratividade, embora que o uso de irrigação aumente os custos de produção, ainda assim, garante maiores ganhos econômicos.

Conclusão

Apesar da grande disponibilidade hídrica na região amazônica, a ocorrência de períodos de secas e estiagem prolongada está se tornando cada mais comum. Os resultados observados corroboram com outros pesquisas as quais indicam

que a mudança climática já é uma realidade estabelecida na região, indicando que a Amazônia já pode ter entrado em um novo regime de clima mais quente e variável.

A projeção futura de mudança em torno de 9% nas condições atuais de DEF e do SPEI, indicando diminuição de 16% nos períodos úmidos, pode levar a cultura do Açaí a sofrer um impacto negativo com possibilidade de redução na sua produtividade de aproximadamente 35%.

Considerando o atual incremento da temperatura do ar e do déficit hídrico, as condições climáticas estão com tendência a uma provável redução na produtividade, uma vez que as condições agrometeorológicas ótimas para a produção de Açaí do Município de Igarapé-Miri está sendo alterada a cada ano.

Como formas de mitigação e manutenção da produtividade do açaí, espécies mais resistentes aos períodos prolongados de deficiência hídrica deverão ser desenvolvidas como forma de adaptação. Outra forma consiste em técnicas de manejo de irrigação nos estágios fenológicos mais críticos de desenvolvimento da cultura.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Risco de Desastres Naturais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, pela utilização da infraestrutura e apoio.

Referências

Beguiría, S.; Vicente-Serrano, S. M.; Latorre, F. R. B. 2014. Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) revisited:

- parameter fitting, evapotranspiration models, kernel weighting, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology*, 34(10): 3001-3023. Doi: <https://doi.org/10.1002/joc.3887>
- Brito, A. P. D., Silva, N. C. D., Tomasella, J., Ferreira, S. J. F., & Monteiro, M. T. F. (2022). Análise do índice de Anomalia de Chuva e Tendência de Precipitação para Estações Pluviométricas na Amazônia Central. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 37, n. 1, 19-30, 2022. [rbmet.org.br](http://www.rbmet.org.br) DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863701452>
- Calbo, M. E. R.; De Moraes, J. A. P. V. 2000. Efeitos da deficiência de água em plantas de *Euterpe oleracea* (açai). *Revista Brasileira de Botânica*, 23(3): 225-230. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-8404200000300001>
- Carlos, D. Á. I., Martorano, L. G., dos Santos Gaspar, A. B., Franco, I. M., & da Silva, R. Uma aplicação na geociência da termografia infravermelho para diagnosticar padrões térmico-hídricos em solos com culturas irrigadas por potes de argila no oeste do Pará, Amazônia. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 44, 2021. Doi: https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_39655
- Corrêa, E. J. A. 2009. O Arranjo Produtivo Local dos Construtores de Barcos Artesanais: fundamentos para o desenvolvimento endógeno do Baixo – Tocantins (PA). Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido) – Universidade Federal do Pará, 103p. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/handle/2011/2657>. Acesso: 30 jan. 2023
- Costa, J. C.; Pereira, G.; Siqueira, M. E.; Da Silva Cardozo, F.; Da Silva, V. V. 2019. Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 24. Doi: <https://doi.org/10.5380/abclima.v24i0.60237>
- Da Silva Melo, G., Costa, F. S., & da Silva, L. C. (2021). O cenário da produção do açaí (*Euterpe spp.*) no estado do Amazonas The production scenario of açaí (*Euterpe spp.*) in the state of Amazonas. *Brazilian Journal of Development*, 7(7), 71536-71549. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n7-365>
- Da Silva, R. C., Aguiar, B. A. C., Lopes, V. C., Souza, F. B., & de Souza, P. B. (2020). Desenvolvimento Inicial de *Euterpe oleracea* Mart.(Açaí) Sob Estresse Hídrico, Gurupi-TO. *Cadernos de Agroecologia*, 15(4).
- Duffy, P. B.; Brando, P.; Asner, G. P.; Field, C. B. 2015. Projections of future meteorological drought and wet periods in the Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(43): 13172–13177. Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1421010112>
- Erfanian, A.; Wang, G.; Fomenko, L. 2017. Unprecedented drought over tropical South America in 2016: Significantly under-predicted by tropical SST. *Scientific Reports*, 7(1): 1-11. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05373-2>
- Espinoza, J. C., et al. 2014. The extreme 2014 flood in south-western Amazon basin: The role of tropical-subtropical South Atlantic SST gradient. *Environmental Research Letters*, 9(12): 124007. Doi: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/12/124007>
- Funk, C., et al. 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Sci Data*, 2(1): 150066. Doi: <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- Garcia, F. C., Bestion, E., Warfield, R., YvonDurocher, G., 2018. Changes in temperature alter the relationship between biodiversity and ecosystem functioning. *PNAS*, 115 (43), 10989-10994. Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1805518115>
- Gloor, M., et al. 2015. Recent Amazon climate as background for possible ongoing and future changes of Amazon humid forests. *Global Biogeochemical Cycles*, 29(9): 1384–1399. Doi: <https://doi.org/10.1002/2014GB005080>
- Gomes, D. J. C., Beltrão, N. E. S., Pereira, F. M., Reis, A. C. M., Pinheiro, A. M. P., & da Silva, D. F. (2022). Estimativa de precipitação dos dados CHIRPS e GPCC em anos de extremos climáticos, Bacia Hidrográfica do rio Guamá-PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(3), 1583-1598. Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.3.p1583-1583>
- Hilker, T., et al. 2014. Vegetation dynamics and rainfall sensitivity of the Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(45): 16041–16046. Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.140487011>
- IBGE. 2022. Contas de Ecossistemas: Produtos Florestais Não Madeireiros, estatística experimental com estudos sobre a evolução física e monetária de produção em cada bioma do país, entre 2006 e 2016. Brasília. 72p. Disponível em:

- <https://www.ibge.gov.br/busca.html?searchword=perfil%20dos%20munic%C3%ADpios&start=1580>. Acesso em: 30 jan. 2023.
- IPCC. 2021. Summary for Policymakers. *Clima. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 41 p. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>. Acesso em: 30 jan. 2023.
- Jiménez-Muñoz, J. C., et al. 2016. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. *Scientific Reports*, 6(1): 33130. Doi: <https://doi.org/10.1038/srep33130>
- Laurindo, L. F., Barbalho, S. M., Araújo, A. C., Guiguer, E. L., Mondal, A., Bachtel, G., & Bishayee, A. Açai (*Euterpe oleracea* Mart.) in health and disease: A critical review. *Nutrients*, v. 15, n. 4, p. 989, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/nu15040989>
- Lopes, A. B., Vieira, M. R. S., De Lima Filho, A. A., Silvestrim, E. G., & Silvestrim, F. G. (2021) Anomalias na precipitação de quatro municípios do Amazonas, Brasil. *Research, Society and Development*, v.10, n.14, e196101421766. Doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.21766>
- Lopes, R., da Cunha, R. N. V., TAVARES, M. D. S., Raizer, M. D. M., dos Santos, C. A., da Silva, E. J. D., & Lopes, M. T. G. (2022). Seasonality of fruit production of *Euterpe oleracea* and *E. precatoria* açai palm trees cultivated in the metropolitan region of Manaus (AM). *Revista Agro@mbiente*, v. 16, 2022. Doi: <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v16i0.7282>
- Mar, C. C. et al. 2013. Produção de Massa Seca e Área Foliar do Açaizeiro Sob Déficit Hídrico. *Revista Agroecossistemas*, 5(2): 14–23. Doi: <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v5i2.1794>
- Marengo, J. A., et al. 2008. The drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate*, 21(3): 495–516. Doi: <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1600.1>
- Marengo, J. A., et al. 2011. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, 38(12): 12703-12723. Doi: <https://doi.org/10.1029/2011GL047436>
- Marengo, J. A.; Espinoza, J. C. 2016. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*, 36(3): 1033-1050. Doi: <https://doi.org/10.1002/joc.4420>
- Marengo, J. A., Jimenez, J. C., Espinoza, J., Cunha, A. P., Aragão, L. E. O., 2022. Increased climate pressure on the agricultural frontier in the Eastern Amazonia-Cerrado transition zone. *Scientific Reports*, 12 (457), 1-10. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04241-4>
- Masuda, Y. T., Garg, T., Anggraeni, I., Wolff, N. H., Ebi, K., Game, E. T., Krenz, J., Spector, J. T., 2020. Heat exposure from tropical deforestation decreases cognitive performance of rural workers: an experimental study. *Environmental Research Letters*, 15 (12), 1-12. Doi: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb96c>
- Mendez, K., Adviento-Borbe, M. A., Lorence, A., Walia, H., 2021. Significant shift of ambient night-time air temperature during rice growing season in major US rice states. *American Journal of Climate Change*, 10 (1), 134-151. Doi: <https://doi.org/10.4236/ajcc.2021.101006>
- Moraes, J. R. S. C.; Rolim, G. S.; Martorano, L. G.; APARECIDO, L. E. O.; Oliveira, M. S.; Farias Neto, J. T. Agrometeorological models to forecast açai (*Euterpe oleracea* Mart.) yield in the Eastern Amazon. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.10164>
- Oliveira, E. A. P., et al. 2014. Potencial osmótico do substrato na germinação de sementes e desenvolvimento inicial de plântulas de milho doce. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 9(4): 477-482. Doi: <https://doi.org/10.5039/agraria.v9i4a2625>
- Pinto, C. A. D., Júnior, J. D. A. S., Cunha, A. C. D., Silva, J. F. B. R. D., D'Oliveira, F. A. F., ... & Filho, J. D. D. S. (2022). Índice de anomalia de chuva (IAC) e sua relação com os desastres naturais no leste da Amazônia. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(5), 2544-2572. Doi:
- Santos, B. N. D. 2021. Análise de risco econômico da produção de açaizeiro irrigado no município de Castanhal-Pa. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 41p. Disponível em: <http://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/2014>. Acesso em: 30 jan. 2023.
- Scalon, S. P. Q., et al. 2011. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). *Ciência Florestal*, 21(4): 655-662. Doi: <https://doi.org/10.5902/198050984510>
- SOUSA, T. Profundidade do lençol freático: efeitos na dinâmica, estrutura e resposta da floresta às

- secas intensas na Amazônia. Tese de Doutorado, (Programa de Pós-Graduação em Ecologia – Ppg-Eco), INPA, Manaus, 117f. 2022.
- Stagge, J.; Tallaksen, L. 2014. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI): Sensitivity to potential evapotranspiration model and parameters. *International Association of Hydrological Sciences (IAHS)*, 10 (10): 367–373. Disponível em: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/558281>
- Stagge, J. H. et al. 2015. Candidate Distributions for Climatological Drought Indices (SPI and SPEI). *International Journal of Climatology*, 35(13): 4027-4040. Doi: <https://doi.org/10.1002/joc.4267>
- Sousa, D. P., et al. 2021. Estimation of evapotranspiration and single and dual crop coefficients of açai palm in the Eastern Amazon (Brazil) using the Bowen ratio system. *Irrigation Science*. New York: Springer, 39(1): 5-22.
- Souza, E. B., Ferreira, D. B. S., Guimarães, J. T. F., Franco, V. S., Azevedo, F. T. M., Souza, P. J. O. P., 2017. Padrões climatológicos e tendências da precipitação nos regimes chuvoso e seco da Amazônia oriental. *Revista Brasileira de Climatologia*, 21, 81-93. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00271-020-00710-2>
- Tavares, G. D. S., Homma, A. K. O., de Menezes, A. A., & Palheta, M. P. (2022). Análise da produção e comercialização de açai no estado do Pará, Brasil. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1143144/1/LV-Sinergias-446-465.pdf>
- Thorntwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate, *Geographical Review*, New York, 38(1): 55-94. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/210739>
- Vicente-Serrano, S. M., et al. 2010a. A multiscale drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7): 1696–1718. Doi: <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Vicente-Serrano, S. M., et al. 2010b. A New Global 0.5° Gridded Dataset (1901–2006) of a Multiscale Drought Index: Comparison with Current Drought Index Datasets Based on the Palmer Drought Severity Index. *Journal of Hydrometeorology*, 11(4): 1033–1043. Doi: <https://doi.org/10.1175/2010JHM1224.1>
- Villachica, H., et al. 1998. Frutales y hortalizas promisorios de la Amazonia. Lima: Tratado de Cooperación Amazonica, 367p. (TCA – SPT, 044). Disponível em: <https://www.echocommunity.org/es/resources/f13b40fe-1523-4913-944b-4c877f64392f>. Acesso em: 30 jan. 2023.
- Wunderling, N., Staal, A., Sakschewski, B., Hirota, M., Tuinenburg, O. A., Donges, J. F., ... Winkelmann, R. (2022). Recurrent droughts increase risk of cascading tipping events by outpacing adaptive capacities in the Amazon rainforest. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(32), e2120777119. doi:10.1073/pnas.2120777119