

CONSIDERAÇÕES ECOFISIOLÓGICAS SOBRE O CULTIVO DO CACAUEIRO NO CERRADO DO OESTE DA BAHIA

*Lindolfo Pereira dos Santos Filho¹, George Andrade Sodré², Raúl René Valle²,
Paulo César Lima Marrocos¹*

¹MAPA/CEPLAC/CEPEC, km 22, Rod. Ilhéus/Itabuna. 45600-970, Itabuna, Bahia, Brasil;
lindolfo.filho@agro.gov.br; paulo.marrocos@agro.gov.br

²Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Rod. Ilhéus/ Itabuna, km16, 45662-900, Ilhéus, Bahia, Brasil.
gsodre@uesc.br; rvalle@uesc.br

No processo de expansão das fronteiras agrícolas e da pressão da abertura de novas áreas agrícolas no Brasil, o cultivo do cacau se encaixa estrategicamente no contexto de uso sustentável do bioma Cerrado. Nesse processo, espera-se além de obter boa produtividade, promover a conservação da biodiversidade assim como os recursos ambientais e naturais desse bioma. Os objetivos deste estudo foram avaliar as condições meteorológicas para o cultivo do cacau em uma área no município de Barreiras no oeste do estado da Bahia (cerrado baiano) e compreender os fatores que favorecem a produção de cacau neste ambiente. Foram utilizadas variáveis climáticas, como dados horários das Normais Climatológicas: precipitação pluvial (mm), temperatura do ar (°C), temperaturas máxima (°C), temperatura mínima (°C), temperatura do ponto de orvalho e umidade relativa do ar (%). Empregou-se o método indutivo, sustentado por observações técnicas e literatura científica. Dois períodos foram adotados: um chuvoso, de outubro a abril, e outro de escassez hídrica, de maio a setembro. No período úmido, os resultados mostraram que o processo vegetativo (ciclo foliar) e o início do processo reprodutivo do cacau (floração e, especificamente, a bilração ou formação de frutos de até 21 dias de desenvolvimento) podem ser adequadamente ajustáveis às condições meteorológicas. No período seco onde se verificaram temperaturas altas e constantes, práticas de manejo, especialmente a irrigação e a fertilização, tornam-se imperativas. Nesse período, os dados indicam que o subperíodo junho a setembro se apresenta com comportamento atípico em relação às regiões tradicionais produtoras de cacau. Diante das condições agroambientais apresentadas e das variedades clonais disponíveis e já implantadas, sugerem-se estudos para avaliar: o custo/benefício da colheita de duas safras (dois ciclos reprodutivos) por ano agrícola; a adaptação de práticas, tais como tipos de poda, uso de quebra-ventos e estratégias de fertilização e irrigação, que evitem a perda excessiva de água por transpiração; os padrões fenológicos entre clones e condições de manejo; a produtividade da planta em relação ao uso do sombreamento; e a análise dos tipos de irrigação visando à gestão de água em relação à quantidade de água necessária para a produção de folhas e à evapotranspiração.

Palavras-chave: *Theobroma cacao* L., cerrado, biodiversidade.

Ecophysiological considerations on cocoa cultivation in Cerrado of Western

Bahia. In the process of expanding agricultural frontiers and responding to the pressure to open new agricultural areas in Brazil, cocoa cultivation strategically fits into the context of sustainable use of the Cerrado biome. This process aims not only to achieve good productivity but also to promote biodiversity conservation and enhance the management of environmental and natural resources in this biome. The aims of this study were to evaluate the meteorological conditions for cocoa cultivation in an area of the municipality of Barreiras, located in the western part of the state of Bahia (Bahian Cerrado), and to understand the factors that favor cocoa production in this environment. Climatic variables utilized included hourly data from Climatological Normals: rainfall (mm), air temperature (°C), maximum temperature (°C), minimum temperature (°C), dew point temperature, and relative humidity (%). The inductive method was employed, supported by technical observations and scientific literature. Two periods were analyzed: a rainy season from October to April and a dry season from May to September. During the

wet season, the results indicated that the vegetative process (leaf cycle) and the onset of the reproductive process of the cocoa tree (flowering and specifically the formation of fruits during the first 21 days of development) can be effectively aligned with meteorological conditions. In the dry season, where high and constant temperatures were observed, management practices, particularly irrigation and fertilization, become essential. During this period, data suggest that the subperiod from June to September exhibits atypical behavior compared to traditional cocoa-producing regions. Given the agro-environmental conditions outlined and the clonal varieties currently available and established, further studies are recommended to evaluate: the cost-benefit of harvesting two crops (two reproductive cycles) per agricultural year; the adaptation of practices such as pruning methods, the use of windbreaks, and strategies for fertilization and irrigation that minimize excessive water loss through transpiration; the phenological patterns among clones and their management conditions; the productivity of the plants in relation to shading practices; and the analysis of irrigation types aimed at effective water management concerning the water needed for leaf production and evapotranspiration.

Key words: *Theobroma cacao* L., cerrado, savanna, biodiversity.

Introdução

A ecorregião do Cerrado brasileiro possui elevada diversidade de plantas adaptadas às diferentes fitofisionomias e respondem estrutural e funcionalmente aos fatores estressantes bióticos e abióticos (Gusson, 2017).

A biodiversidade do cerrado, em particular sua riqueza em espécies endêmicas, é reconhecida mundialmente. Segundo o Ministério do Meio Ambiente MMA, o cerrado possui a savana biologicamente mais rica do mundo, abrigando 11.627 espécies de plantas nativas. É também reconhecido como a “caixa d’água do Brasil”, uma vez que acolhe as nascentes de rios de oito importantes bacias hidrográficas do país, em particular, três das maiores bacias da América do Sul (Amazônica/Tocantins, São Francisco e Prata), o que resulta em um elevado potencial aquífero.

Entretanto, ainda de acordo com o MMA, depois da Mata Atlântica, este bioma “é o que mais sofreu alterações com a ocupação humana ou expansão da fronteira agrícola brasileira. Com a crescente pressão para a abertura de novas áreas, visando incrementar a produção de carne e grãos para exportação, tem havido um progressivo esgotamento dos recursos naturais da região”.

Por ser uma importante atividade econômica e agroflorestal tropical, o cultivo do cacau integra o processo de expansão e pressão da abertura de novas áreas agrícolas no Brasil. No entanto, estrategicamente, esse cultivo se encaixa no programa destinado à conservação e ao uso sustentável do bioma (Decreto 5577/2005), viabilizando reverter os impactos socioambientais negativos desta região, ou seja, promover aumento da conservação da biodiversidade

e melhorar o manejo dos recursos ambientais e naturais do bioma Cerrado.

Neste sentido, a cacauicultura se posiciona como uma atividade estratégica de conservação e de uso sustentável do bioma cerrado, além de participar do plano de expansão da produção de cacau no Brasil, como modelo econômico inovador e de elevado valor agregado.

Contudo, especialistas entrevistados na Comissão Executiva de Recuperação da Lavoura Cacaueira - CEPLAC observam que, no Brasil, ainda é bastante reduzido o número de estudos avaliando o cultivo do cacau em regiões marginais aos biomas Mata Atlântica e Amazônica, especialmente nas áreas do Cerrado.

Pesquisas têm demonstrado que o cultivo do cacau é sensível ao estresse hidrotérmico, em especial ao déficit de pluviosidade, de umidade do solo e da temperatura, e dependente da aplicação intensiva de água e de nutrientes (Sodré et al., 2017). No entanto, com boas práticas de manejo, disponibilidade de recursos hídricos e reposição de nutrientes, admite-se que o cultivo do cacau é viável economicamente em ambiente sob sombreamento mínimo ou mesmo a pleno sol.

Considerando que, em climas semiúmidos, o gerenciamento de práticas adequadas de manejo e o reabastecimento de recursos hídricos e nutricionais sustentam os desafios e a necessidade estratégica da produção de cacau, objetivou-se compreender a ecofisiologia do cacau, em particular, analisar a relação entre o funcionamento (vegetativo e reprodutivo) e as relações hídricas em ambiente de cerrado no estado da Bahia, em uma área do município de Barreiras - BA.

Material e Métodos

No cerrado baiano, especificamente no município de Barreiras-BA (AMB), as condições meteorológicas se caracterizam pelo clima tropical semiúmido, tipo Aw, classificação de (Köppen, 1936).

Utilizaram-se dados de três estações meteorológicas, uma convencional e duas automáticas. Cada estação meteorológica pode representar condições de clima de um raio de 150 km (Rodrigues et al. (2022) citando Fiorin e Ross, 2015: Almeida, 2016).

Das estações automáticas foram obtidos dados horários históricos, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet, estação climatológica, A402, localizada na latitude: -12.12472221, longitude: -45.02694443, altitude: 474.17, Barreiras - BA (AMB), durante o período de 01/01/2002-31/12/2023. Em relação às fontes Weatherspark.com and Cedar Lake Ventures, Inc. (2018), o período utilizado foi primeiro de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2016. Ambos os bancos de dados se compõem das variáveis: precipitação pluvial (mm), temperatura do ar (°C), temperaturas máxima (Tmax °C), temperatura mínima (Tmin °C), umidade relativa do ar (UR%) e temperatura do ponto de orvalho (°C). Quanto à consistência dos dados (Inmet), dias com menos de 20 registros foram descartados, o que significou 17,3% de todos os horários possíveis do período (33.432 de 192.840 horários de registros). Tal descarte não foi limitante aos objetivos e resultados do estudo.

Os dados climatológicos da Região Sudeste da Bahia (RCB) foram obtidos da estação convencional agroclimatológica da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira/Centro de Pesquisas do Cacau - CEPLAC/CEPEC, km 22 Rodovia Ilhéus-Itabuna, (14°45'15''S e 39°13'59''W) em Ilhéus, Bahia, Brasil. A estação está situada a 6 km da cidade de Itabuna - BA, aproximadamente no centro da região, onde se concentra o cultivo tradicional do cacauero sob a sombra de árvores maiores. Os dados meteorológicos da RCB foram utilizados por oferecer as condições meteorológicas de referência ao cultivo do cacauero, durante o período 01/01/1990 a 31/12/2023.

Considerou-se que as áreas de cultivo do cacauero na AMB adotam a ambiência a pleno sol, enquanto as da RCB são sob árvores de sombra.

Explorou-se a influência que as condições do ar, especialmente a temperatura e a umidade relativa do ar, exercem sobre o conforto térmico dos humanos, fazendo analogia com os cacaueros. Utilizou-se o índice de calor¹ (Tabela 1) que visa determinar a intensidade do calor que uma pessoa sente, variando em função da temperatura e da umidade relativa do ar.

$$IC = \frac{5}{9} (c_1 + c_2T + c_3R + c_4TR + c_5T^2 + c_6R^2 + c_7T^2R + c_8TR^2 + c_9T^2R^2)$$

Onde,

IC = índice de calor (em graus Celsius)

T = temperatura (em graus Fahrenheit) $\Rightarrow T^{\circ}F = 1,8 * T^{\circ}C + 32$

R = umidade relativa (em porcentagem)

Índice	Parâmetros	Índice	Parâmetros	Índice	Parâmetros
c ₁	-42.3790000	c ₄	0.22475541	c ₇	0.00122874
c ₂	2.04901523	c ₅	-0.00683783	c ₈	0.00085282
c ₃	10.14333127	c ₆	-0.05481717	c ₉	-0.00009990

Tabela 1 - Níveis de alerta e possíveis sintomas fisiológicos em humanos, de acordo com o Índice de Calor¹ (temperaturas à sombra)

Temperatura	Notas
27-32 °C	Cuidado - possibilidade de fadiga após exposição e atividade prolongadas
32-41 °C	Cuidado extremo - hipertermia e câimbras de calor possíveis
41-54 °C	Perigo - hipertermia e câimbras de calor prováveis
> 54 °C	Perigo extremo - hipertermia e câimbras de calor iminentes

Seguiram-se os fundamentos de que, no período da madrugada, são maiores as probabilidades de ocorrência natural do orvalho e da temperatura mínima (Varejão-Silva, 2001). Desse modo, combinou-se a temperatura que regula a velocidade das reações metabólicas da planta e a umidade do ar, que proporciona a presença de água na forma líquida sobre as folhas. Avaliou-se, com o uso da depressão da temperatura do ponto de orvalho (DPO) as semelhanças entre o município de Barreiras-AMB, localizado na região oeste e o município de Itabuna, região Sudeste da Bahia (RCB).

¹https://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%8Dndice_de_calor#:~:text=O%20%C3%ADndice%20de%20calor%20visa,a%20temperatura%20aparente%20do%20ar. Acesso: 17/05/2024.

Adotou-se a equação 1 para definir o balanço hídrico:

$$Ch + I = -(Et + \Delta M) \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

Ch = Precipitação pluvial

I = Irrigação

Et = Evapotranspiração

ΔM = Variação de armazenamento de água.

No cálculo do DPO, utilizaram-se as equações 2, 3 e 4 de Tetens (Silva et al., 2016). Os DPO foram classificados em três faixas: $\leq 2,0$ °C; entre 2,0 e 3,8 °C e; $> 3,8$ °C. Avaliou-se também a sequência de horas em que a DPO permaneceu nestas faixas. Segundo esses mesmos autores, adotam-se 2 °C para a deposição do orvalho e 3,8 °C para sua secagem, mas essa faixa depende do cultivo.

Pressão de saturação de vapor (e_s (kPa))

$$e_s \text{ (kPa)} = 0.61 * 10^{((7.5 * Tar) / (237.3 + Tar))} \quad (\text{Eq. 2})$$

Pressão parcial de vapor (e_a (kPa))

$$e_a \text{ (kPa)} = e_s * UR * 0.01 \quad (\text{Eq. 3})$$

Temperatura do ponto de orvalho

$$T_o \text{ (}^\circ\text{C)} = (237.3 * \log(e_a / 0.61) / (7.5 - \log(e_a / 0.61))) \quad (\text{Eq. 4})$$

Depressão do ponto de orvalho

$$\text{DPO (}^\circ\text{C)} = Tar - T_o \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

Tar = temperatura do ar (°C)

UR = umidade relativa (%).

Enquadraram-se os processos vegetativo e reprodutivo dos cacauzeiros, com base nas normas climatológicas do município de Barreiras-BA, empregando-se o método indutivo, sustentado por observações técnicas e publicações científicas e, em particular, os documentos "Considerações sobre a fenologia de lançamento foliar, floração e frutificação do cacauzeiro na região Sudeste da Bahia" (Santos Filho et al., 2020) e "Ecofisiologia do Cultivo do Cacauzeiro. Ciência, Tecnologia e Manejo do Cacauzeiro" (Muller e Valle, 2012).

Na preparação dos dados, definiu-se a safra agrícola do cacauzeiro (ciclos vegetativo e reprodutivo) de outubro de determinado ano a setembro do ano seguinte (Cazorla et al., 1989). Conforme Cazorla et al. (1989), considerou-se que: o desenvolvimento dos frutos ocorre em cinco fases: bilro (Figura 1), fruto pequeno, médio, adulto e maduro, e também que o processo vegetativo do cacauzeiro (lançamento foliar e floração) do ano agrícola na RCB começa na primavera; que no mês de agosto aumenta a intensidade do lançamento foliar, se intensifica em setembro e atinge o pico em outubro-novembro, decrescendo até julho. A floração segue essa mesma trajetória deslocada de aproximadamente 30 dias para frente. O perfil sazonal da produção de frutos bilros (frutos até 21 dias de desenvolvimento) na região Sudeste da Bahia é uma particularidade. Segundo Cazorla et al. (1989) ao longo do ano agrícola, os processos de produção são superpostos e definem as safras temporã e principal (Figura 1).

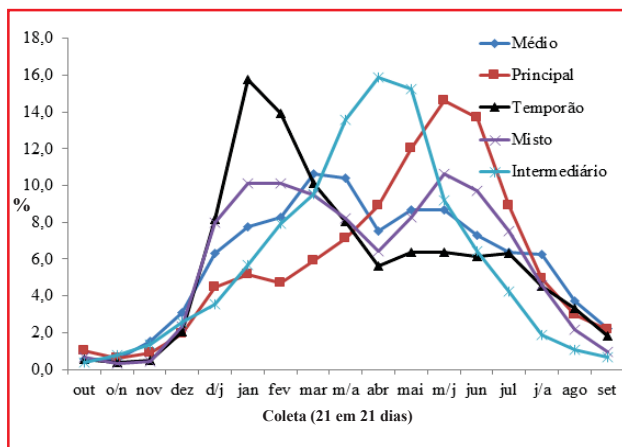


Figura 1. Padrões de perfis do fruto bilro na região cacauzeira da Bahia. (Fonte: CEPLAC/Cepec). Período 1987-2019.

Dados, gráficos e tabelas foram organizados e analisados com o auxílio do software Excel para Windows. Para calcular a razão de mistura, utilizou-se a calculadora de umidade da Vaizala (<https://humiditycalculator.vaisala.com>). Nas Tabelas 3, 4 e 8, usou-se o procedimento "Formatação condicional do Excel" com estilo de formatação escala tricolor para ponto médio percentil 50, valor mais baixo e valor mais alto.

Resultados e Discussão

Condições climáticas

Com base na precipitação pluvial observaram-se dois períodos distintos: o úmido, de outubro a abril e o seco, de maio a setembro. Os meses abril e outubro foram considerados como de inflexão entre os períodos. Observou-se (Tabela 2) que o período úmido registrou volume de 813,1 mm de chuva, contra 21,8 mm no período seco, e este representou apenas 2,7% do volume anual. Os maiores volumes de chuva ocorreram nos meses de novembro, dezembro, janeiro e março (Tabelas 2 e 3).

Muller e Valle (2012) consideraram a faixa da temperatura do ar e a distribuição da precipitação

pluvial como fatores determinantes ao cultivo do cacauero. Constataram que a maioria das regiões produtoras de cacau apresenta precipitação pluvial média anual de 1.400 a 2.000 mm ou seja, 117,0 mm a 167,00 mm de média mensal.

Caso não se faça uso da irrigação, neste intervalo, a área em estudo com média mensal de 69,6 mm (116,2 e 4,4 mm por período úmido e seco, respectivamente) não está dentro das condições da maioria dos casos (Tabela 2). A quase ausência da precipitação pluvial durante todos os horários dos dias, principalmente do período seco, limitaria os processos produtivos do cacauero e pode ser, inicialmente, um fator limitante da eficácia produtiva do cultivo na área (Tabela 3).

Tabela 2. Dados meteorológicos do município de Barreira - Bahia (AMB), Normais Climatológicas de 2002-2023 e médias mensais das Normais Climatológicas de 1990-2023, da região sudeste da Bahia (RCB)

Atributos		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	AMB	RCB	Úmido	Seco
Chuva	Volume Total	154,9	75,8	135,1	73,0	10,4	4,8	0,0	1,1	5,5	65,2	146,1	163,0	69,6	133	116,2	4,4
	Nº de dia	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31				
	Volume/dia	5,0	2,7	4,4	2,4	0,3	0,2	0,0	0,0	0,2	2,1	4,9	5,3				
Temperatura do ar (°C)		25,6	25,3	25,4	25,2	24,6	23,5	23,4	25,1	27,7	28,7	26,6	26,0	25,6	23,7	26,1	24,9
Umidade Relativa (%)		73,9	76,6	77,0	75,2	68,4	61,5	54,5	46,2	39,8	47,6	66,7	71,4	63,2	83,8	69,8	54,1
Temp. do Ponto de Orvalho (°C)		19,9	20,4	20,5	19,9	17,5	14,6	12,5	11,5	11,5	14,8	18,8	19,6	16,8	20,6	19,1	13,5
Temperatura Máxima (°C)		31,4	31,0	31,1	31,2	31,6	31,3	31,4	32,7	35,2	35,3	32,4	31,7	32,2	28,9	32,0	32,4
Temperatura Mínima (°C)		21,0	20,9	21,0	20,6	18,8	16,7	15,9	17,4	19,8	22,3	21,9	21,4	19,8	19,9	21,3	17,7
Amplitude (°)		10,5	10,1	10,0	10,6	12,8	14,6	15,5	15,3	15,4	13,1	10,6	10,4	12,4	9,0	10,8	14,7

Tabela 3. Dados da Precipitação pluvial do município de Barreiras - Bahia, 01/012002- 31/12/2023. Formatação escala tricolor para ponto médio percentil 50 (amarelo), valores mais baixos (vermelho) e mais altos (azul).

Atributos		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Chuva	Volume Total	154,9	75,8	135,1	73,0	10,4	4,8	0,0	1,1	5,5	65,2	146,1	163,0
	Nº de dia	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
	Volume/hora	5,0	2,7	4,4	2,4	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	2,1	4,9
Volume/hora (mm)	0	0,4	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,4
	1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,4
	2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,2
	3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3
	4	0,2	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2
	5	0,2	0,1	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,2
	6	0,2	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,2
	7	0,2	0,1	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2
	8	0,2	0,1	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2
	9	0,3	0,2	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2
	10	0,3	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
	11	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
	12	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
	13	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
	14	0,3	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
	15	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
	16	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3
	17	0,1	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
	18	0,1	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2
	19	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
	20	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2
	21	0,3	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,4
	22	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3
23	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,3	
00:00 - 12:00		94,0	42,8	88,1	51,3	6,1	3,6	0,0	0,3	2,1	39,6	89,6	86,0
13:00 - 00:00		60,9	33,0	47,0	21,7	4,3	1,2	0,0	0,8	3,4	25,6	56,5	77,0

Quanto ao limite de tolerância térmica, Muller e Valle (2012), citando Alvim (1977), expuseram que o cacauzeiro se desenvolve bem na faixa de 18,0 °C a 28,0 °C de temperatura média mensal, mas é fortemente influenciado pela temperatura em locais com grandes diferenças sazonais.

Na área estudada, a faixa de temperaturas do ar (Ts) do período úmido foi de 25,2 °C a 28,7 °C, com média de 26,9 °C. A do período seco, de maior amplitude, foi de 23,4 °C a 27,7 °C, média 24,9 °C. A média mensal da amplitude térmica foi de 12,4 °C, o que significa três graus acima da registrada na RCB. Notou-se que a redução da temperatura mínima foi determinante no aumento da amplitude térmica no período seco (ver Tabela 2).

Dentro de um contexto de planejamento ao turismo a weatherspark (2018) classifica a temperatura média horaria em quatro faixas: das 00:00 a 09:00 horas a temperatura permanece **agradável** (18 °C a 24 °C); das 09:00 às 12:00 apresenta-se **morna** (24 °C a 29°C); das 12:00 às 17:00 **quente** (29 °C a 35 °C); das 17:00 às 00:00 horas volta ao tipo **morna** (24 °C a 29 °C). Nos meses de setembro e outubro das 13:00

às 17:00 horas, a temperatura atinge marcas em torno de 35°C, classificando-se como horário **escaldante**. (Tabela 4).

A Figura 2 representa o termohigrograma (umidade Relativa e a Temperatura do ar) da RCB e da AMB. Assumindo como referência os limites do polígono da RCB, a superposição entre os locais mostrou que a temperatura do ar na faixa de 18 °C a 28 °C e a umidade acima de 60% proporcionaram condições ambientais com maior probabilidade de sucesso em termos de produtividade e sustentabilidade do cultivo. No entanto, no período da safra principal, as condições da umidade relativa da AMB, devido à pluviosidade quase nula, destoou dos limites desejáveis.

Ainda na fundamentação da relação fluxo de calor e água, verificou-se (Figura 3) que, para AMB, entre os meses de outubro a julho, a temperatura do ar (Ta) apresentou redução expressiva de 5,3 °C e a umidade relativa do ar (UR) com média mensal de 63,0 % variou entre 39,8 % e 77,1%. As menores UR foram registradas nos meses de agosto (46,3 %), setembro (39,8 %) e outubro (47,7 %), que fazem parte, naturalmente, do período seco.

Tabela 4. Dados da Temperatura do ar do município de Barreiras - Bahia, período 2002-2023. Formatação escala tricolor para ponto médio percentil 50 (amarelo), valor mais baixo (azul) e valor mais alto (vermelho)

Atributos		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Indicadores	Máxima período	31,4	31,0	31,1	31,2	31,6	31,3	31,4	32,7	35,2	35,3	32,4	31,7	
	Média	ÚMIDO				SECO					ÚMIDO			
		25,6	25,3	25,4	25,2	24,6	23,5	23,4	25,1	27,7	28,7	26,6	26,0	
Horas	0	24,5	24,1	24,1	23,6	22,8	21,6	21,9	24,1	26,8	27,9	25,5	24,8	
	1	23,8	23,4	23,5	23,0	22,2	21,0	21,1	23,1	25,8	27,0	24,8	24,0	
	2	23,2	22,9	23,1	22,6	21,8	20,7	20,5	22,4	24,9	26,4	24,3	23,6	
	3	22,8	22,6	22,7	22,3	21,4	20,2	20,1	21,9	24,4	25,8	23,9	23,1	
	4	22,3	22,2	22,4	22,0	20,9	19,6	19,4	21,3	23,8	25,3	23,6	22,8	
	5	22,0	21,9	22,1	21,7	20,5	18,9	18,6	20,4	23,1	24,8	23,2	22,5	
	6	21,7	21,7	21,8	21,4	20,0	18,3	17,9	19,6	22,3	24,2	22,9	22,2	
	7	21,5	21,4	21,6	21,2	19,6	17,7	17,2	18,9	21,5	23,6	22,6	21,9	
	8	21,3	21,2	21,4	20,9	19,3	17,3	16,6	18,3	20,7	23,0	22,2	21,6	
	9	21,1	21,1	21,2	20,7	18,9	16,8	16,1	17,7	20,1	22,7	22,3	21,7	
	10	22,3	22,0	22,1	21,7	19,9	17,6	16,8	18,7	22,0	24,5	23,7	23,1	
	11	24,0	23,7	23,7	23,5	22,2	20,6	20,0	22,0	25,1	26,8	25,4	24,8	
	12	26,0	25,6	25,6	25,5	24,7	23,5	23,0	25,0	27,7	28,9	27,1	26,6	
	13	27,5	27,2	27,3	27,4	27,1	26,1	25,8	27,3	29,7	30,6	28,6	28,1	
	14	28,7	28,4	28,5	28,8	28,8	28,0	27,8	29,1	31,5	32,1	29,8	29,2	
	15	29,5	29,2	29,4	29,7	30,0	29,4	29,2	30,4	32,9	33,3	30,7	30,0	
	16	30,1	29,8	29,9	30,2	30,7	30,3	30,2	31,5	33,9	34,0	31,3	30,5	
	17	30,4	30,1	30,3	30,6	31,2	30,8	30,9	32,1	34,6	34,5	31,5	30,8	
	18	30,4	30,1	30,3	30,5	31,2	31,0	31,2	32,5	34,8	34,6	31,4	30,7	
	19	30,2	29,8	29,9	30,2	30,9	30,9	31,1	32,4	34,7	34,3	31,1	30,4	
	20	29,5	29,1	29,1	29,4	29,9	30,0	30,4	31,9	34,0	33,5	30,2	29,6	
	21	28,3	27,8	27,5	27,2	26,9	26,7	27,6	29,8	32,2	31,8	28,9	28,4	
	22	26,5	26,0	25,8	25,4	24,8	24,1	24,8	27,2	30,1	30,2	27,4	26,8	
23	25,4	24,9	24,8	24,3	23,6	22,6	23,2	25,5	28,4	28,9	26,3	25,6		

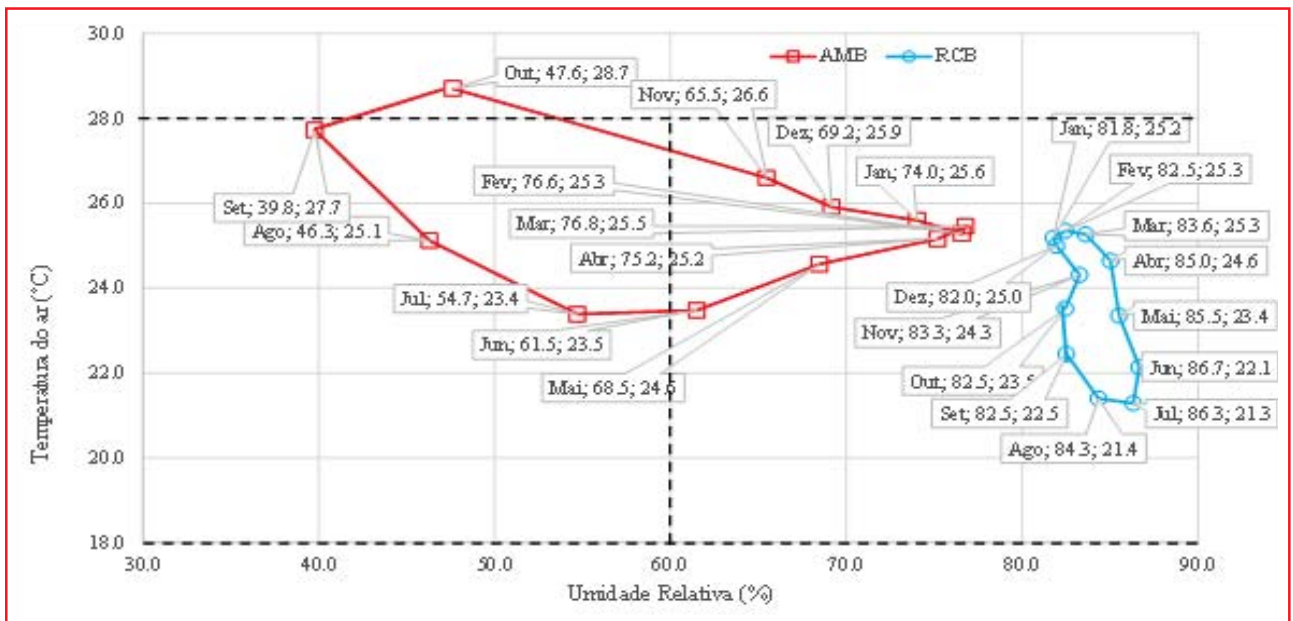


Figura 2. Termohigrograma - par de Temperatura do ar e Umidade Relativa do município de Barreiras - Bahia (AMB), período 2002-2023 e da região Sudeste da Bahia (RCB), período 1990-2023.

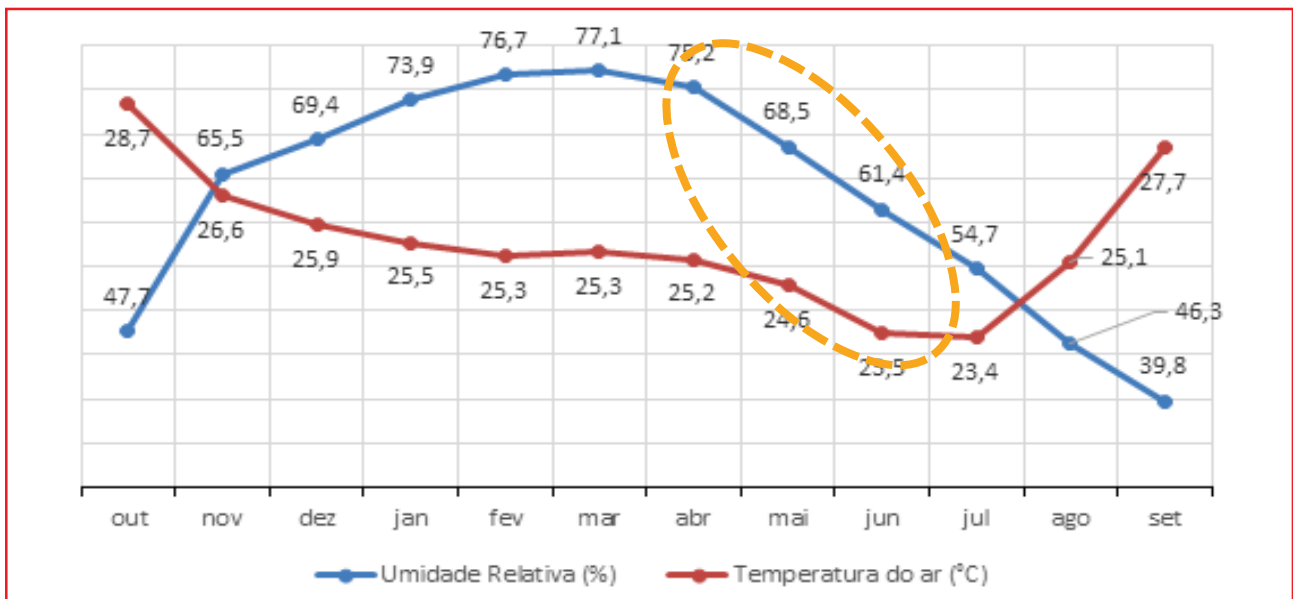


Figura 3. Temperatura do ar (°) e Umidade Relativa (%), período outubro-setembro, em Barreiras-BA. A elipse objetiva destacar o período atípico. Período 2002 - 2023.

Neste período outubro a julho, com a Ta em queda, a UR apresentou dois comportamentos distintos: subiu 30 pontos percentuais de outubro a março e reduziu 38 pontos de março a setembro (Figura 3). De outubro a março quando a temperatura diminuiu, observou-se um aumento da umidade relativa do ar. Entretanto, de

abril a julho, tanto a UR quanto a Ta caíram. Esse efeito da diminuição da UR pode ser atribuído ao período seco longo (cinco meses consecutivos) com redução total da pluviosidade, associada à menor retenção de calor na atmosfera ou menor nível de radiação, maior velocidade do vento seco (2,7 m/s no

período úmido que aumentaram para 3,7 m/s no seco) e aumento da amplitude térmica ($T_{max} - T_{min}$), de 10,6 °C em abril para 15,5 °C em julho, devido à redução da temperatura mínima.

Tal constatação vai de encontro ao que ocorreu na RCB. Na Figura 4, se observou que, na RCB a temperatura e a umidade relativa do ar estão inversamente relacionadas, especialmente no período de abril a julho. Destaca-se que, nesse período, a média da T_a (°C) na AMB é maior que a da RCB e, segundo Carzola et al. (1989), na RCB devido à superposição de safras nesse período (abril a julho), ocorrem os processos vegetativo e produtivo da safra principal (especialmente a bilração) e o produtivo da safra temporã.

Em suma, esse comportamento da T_a e UR no período seco reflete a quantidade de vapor de água, volume ocupado pelo ar e energia presente no ambiente e aumenta as dúvidas quanto a satisfação das necessidades fisiológicas do cacauzeiro nesse período.

Além da T_a e UR, algumas propriedades do ar também se destacaram na avaliação da eficácia do cultivo do cacauzeiro, em especial na capacidade de reter umidade no solo e no ambiente.

Por exemplo, a influência do vapor de d'água no ponto de orvalho é importante para entender fenômenos como a sensação térmica e a necessidade da irrigação. Nesse contexto, avaliando o número de horas diárias em que ocorreu a depressão da temperatura do ponto de orvalho - DPO, observaram-se diferenças expressivas entre a da AMB e a da RCB (Tabelas 5 e 6).

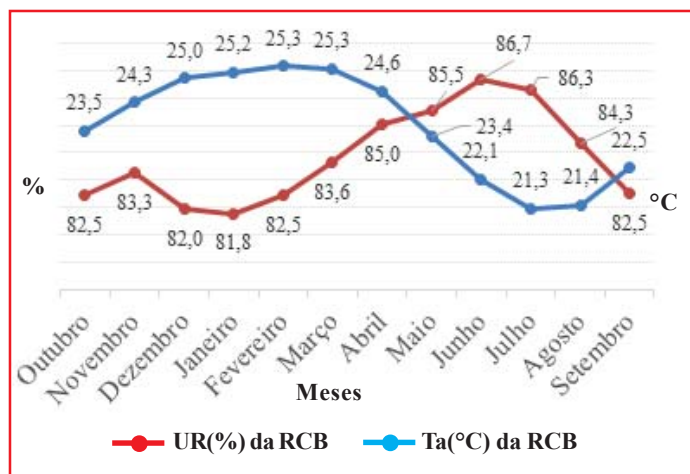


Figura 4. Temperatura do ar (°) e Umidade Relativa (%), ano agrícola outubro-setembro, estação climatológica do Centro de Pesquisas do Cacau-Ilhéus -BA. Período 1990 - 2023.

Na RCB (Tabela 5) as condições apresentadas foram favoráveis tanto aos agentes fitopatogênicos (especialmente fungos causadores de doenças como a podridão parda *Phytophthora palmivora* e vassoura de bruxa *Moniliophthora perniciosa*) quanto nas condições hídricas ou presença de água na forma líquida sobre o solo e as folhas. Em todos os meses entre 00:00 e 10:00 horas, a DPO permaneceu abaixo de dois graus, condição favorável para a deposição do orvalho. Por outro lado, na AMB, esse momento praticamente não existiu. O padrão ou a maior ocorrência foi DPO na faixa $> 3,8$ °C (Tabela 6). Esse fato fundamenta a presença necessária da irrigação no cultivo, ao longo de todo o ciclo produtivo.

Em uma área cultivada com cacauzeiros, sob sombreamento de Eritrina (*Erythrina glauca*), localizada no Município de Camacan-BA, Almeida et al. (2009) estimaram que a duração do período de molhamento por orvalho (DPM), entre 18:00 e 06:00 horas, utilizando-se um modelo empírico da depressão do ponto de orvalho $\leq 0,5$ °C ocorreu, em média, em mais de 60% dos dias.

Na Tabela 7, observou-se, por mês, que na AMB, a razão de mistura (massa de vapor d'água (g) por unidade de massa de ar seco (kg)) foi sempre menor que a da RCB. No período úmido, a diferença foi de 1,7 g/kg para menos e no período seco, aumentou muito mais, e atingiu 4,4 g/kg. Essa redução acentuada da razão de mistura implica em um grande desafio tecnológico para o cultivo na AMB, principalmente

quanto aumentar a capacidade do ar de reter umidade a pleno sol no período seco da safra principal. Como no ano agrícola, os processos vegetativo e reprodutivo das safras temporã e principal são superpostos, cabe indagar se de fato o valor nulo da precipitação pluvial na equação do balanço hídrico pode ser compensado apenas pela irrigação. Ou seja, se este elemento pode compensar as necessidades conjuntas do solo e da planta e atender à atuação e interação dos demais elementos do sistema, especialmente na safra principal.

Quanto a essas atuação e interação dos elementos do sistema, de acordo com o Índice de Calor (temperaturas à sombra) os valores registrados na Tabela 8 para AMB mostraram que no período úmido a partir das 12:00, ocorreu

Tabela 5. Depressão da temperatura do ponto de orvalho DPO, na região Sudeste da Bahia (RCB), período 1990-2023. Convenção: ≤ 2 °C (cor azul); 2 a 3,8 °C (cor amarela); > 3,8 °C (cor vermelha).

Horário/ Faixa°C	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0	2,0	1,97	1,9	1,7	1,8	1,5	1,5	1,7	1,8	1,7	1,6	1,8
1	1,5	1,4	1,4	1,3	1,5	1,3	1,2	1,3	1,4	1,3	1,3	1,4
2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,2	1,1	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1
3	0,9	0,9	1,0	1,0	1,2	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9
4	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8
5	0,8	0,8	0,8	0,9	1,0	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8
6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7
7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7
8	0,6	0,7	0,7	0,7	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
9	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9	0,7	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7
10	1,0	0,9	0,8	0,9	1,0	0,8	0,7	0,8	0,9	1,2	1,3	1,4
11	2,5	2,1	1,9	1,8	1,7	1,3	1,1	1,4	1,9	2,5	2,6	3,1
12	4,1	3,6	3,6	3,3	3,0	2,5	2,3	2,9	3,6	3,8	3,9	4,6
13	5,3	5,0	4,8	4,6	4,3	3,7	3,7	4,4	4,9	4,9	4,9	5,7
14	6,3	5,9	5,6	5,3	5,1	4,6	4,7	5,4	5,8	5,5	5,3	6,3
15	6,8	6,5	6,2	5,8	5,5	5,2	5,2	6,1	6,2	5,9	5,6	6,6
16	7,0	6,7	6,4	6,0	5,6	5,4	5,5	6,2	6,3	6,0	5,7	6,7
17	6,9	6,6	6,5	5,9	5,6	5,3	5,5	6,2	6,2	5,9	5,7	6,7
18	6,8	6,4	6,1	5,7	5,3	5,0	5,3	5,8	5,9	5,5	5,4	6,4
19	6,2	5,9	5,5	5,0	4,6	4,4	4,7	5,2	5,3	4,9	4,8	5,8
20	5,2	5,0	4,6	4,0	3,6	3,5	3,7	4,2	4,2	3,9	3,8	4,8
21	3,9	3,7	3,4	3,0	2,8	2,6	2,8	3,2	3,2	3,0	2,8	3,4
22	3,0	2,9	2,8	2,6	2,4	2,2	2,3	2,6	2,7	2,5	2,3	2,7
23	2,5	2,5	2,3	2,2	2,1	1,9	1,9	2,1	2,3	2,1	2,0	2,3
≤ 2	10	11	12	12	12	13	13	12	12	11	12	11
(2- 3,8]	4	5	4	4	5	5	5	4	4	4	3	4
> 3,8	10	8	8	8	7	6	6	8	8	9	9	9
≤ 2	42%	46%	50%	50%	50%	54%	54%	50%	50%	46%	50%	46%
(2- 3,8]	17%	21%	17%	17%	21%	21%	21%	17%	17%	17%	13%	17%
> 3,8	42%	33%	33%	33%	29%	25%	25%	33%	33%	38%	38%	38%

Tabela 6. Depressão da temperatura do ponto de orvalho DPO, em Barreiras-BA (AMB), período 2002-2023. Convenção: ≤ 2 °C (cor azul); 2 a 3,8 °C (cor amarela); > 3,8 °C (cor vermelha).

Horário/ Faixa°C	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0	4,2	3,3	3,0	3,1	4,4	6,3	9,1	12,9	16,2	13,5	6,6	4,9
1	3,5	2,7	2,5	2,7	3,9	5,7	8,2	11,7	14,9	12,4	5,8	4,1
2	3,0	2,3	2,2	2,4	3,7	5,5	7,6	10,8	13,6	11,7	5,2	3,7
3	2,7	2,1	1,9	2,2	3,4	5,1	7,2	10,1	12,9	10,9	4,8	3,3
4	2,3	1,8	1,7	2,0	3,1	4,7	6,5	9,4	12,2	10,2	4,4	3,0
5	2,1	1,6	1,6	1,8	2,8	3,9	5,7	8,4	11,3	9,6	4,1	2,7
6	1,9	1,5	1,4	1,7	2,5	3,5	5,0	7,5	10,3	8,9	3,8	2,4
7	1,7	1,3	1,3	1,5	2,3	3,0	4,4	6,7	9,4	8,2	3,5	2,2
8	1,5	1,2	1,2	1,4	2,0	2,7	3,8	6,0	8,5	7,5	3,2	2,0
9	1,4	1,1	1,1	1,3	1,8	2,4	3,4	5,4	7,7	7,0	3,1	1,9
10	2,1	1,6	1,5	1,8	2,4	2,8	3,7	6,0	9,1	8,4	4,3	2,9
11	3,6	3,0	3,0	3,4	4,5	5,4	6,6	9,0	11,9	10,7	5,9	4,5
12	5,5	4,9	4,8	5,3	6,9	8,1	9,5	11,9	14,4	12,9	7,9	6,5
13	7,2	6,6	6,5	7,3	9,3	10,7	12,3	14,5	16,7	15,0	9,6	8,2
14	8,5	7,7	7,9	8,9	11,2	12,9	14,6	16,7	19,0	16,9	11,0	9,4
15	9,5	8,7	8,9	10,0	12,7	14,7	16,6	18,6	21,1	18,4	12,2	10,5
16	10,4	9,5	9,7	10,8	13,8	16,3	18,3	20,3	22,8	19,7	13,1	11,2
17	11,0	9,9	10,3	11,2	14,6	17,4	19,4	21,5	24,0	20,6	13,5	11,8
18	11,1	10,2	10,4	11,4	14,8	17,9	20,1	22,3	24,8	21,0	13,5	11,8
19	11,0	9,9	9,9	11,1	14,5	17,8	20,3	22,6	25,0	20,8	13,2	11,5
20	10,2	9,2	9,1	10,0	13,1	16,8	19,6	22,2	24,4	20,0	12,3	10,7
21	8,8	7,6	7,0	7,1	8,9	12,2	16,0	19,8	22,3	18,0	10,7	9,3
22	6,6	5,5	5,0	5,1	6,6	9,1	12,5	16,7	19,9	16,1	8,8	7,4
23	5,3	4,2	3,8	3,9	5,2	7,5	10,6	14,7	17,8	14,4	7,6	5,9
≤ 2	4	7	8	7	1	0	0	0	0	0	0	2
(2- 3,8]	7	5	4	5	8	5	2	0	0	0	3	7
> 3,8	13	12	12	12	15	19	22	24	24	24	21	15
≤ 2	27%	47%	53%	47%	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	13%
(2- 3,8]	47%	33%	27%	33%	53%	33%	13%	0%	0%	0%	20%	47%
> 3,8	87%	80%	80%	80%	100%	127%	147%	160%	160%	160%	140%	100%

Tabela 7. Valores mensais da razão de mistura (massa de vapor d'água (g) por unidade de massa de ar seco (kg)) da região Sudeste da Bahia (RCB) e município de Barreiras - Bahia (AMB), Normais Climatológicas de 2002-2023 (AMB) e 1990-2023 (RCB)

Área	Úmido							Seco					Período	
	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	Úmido	Seco
AMB (i)	11,8	14,7	15,2	15,3	15,6	15,8	15,2	13,3	11,2	9,8	9,2	9,2	14,8	10,5
RCB (ii)	16,1	16	16,4	16,6	16,8	17,1	16,6	15,5	14,5	13,8	13,6	14,2	16,5	14,9
(i) - (ii)	4,3	1,3	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4	2,2	3,3	4	4,4	5,0	1,7	4,4

Tabela 8. Índice mensal de calor por horas. Formatação escala tricolor para ponto médio percentil 50 (cor amarela), valor mais baixo (cor azul) e valor mais alto (cor vermelha).

Horas	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0	25,3	25,4	25,5	24,8	22,8	20,1	18,7	19,3	20,8	23,5	24,6	24,6
1	24,6	24,8	24,9	24,2	22,2	19,3	18,0	18,5	20,0	22,9	24,2	24,1
2	24,2	24,3	24,5	23,8	21,7	18,9	17,5	17,9	19,6	22,5	23,8	23,6
3	23,7	23,9	24,2	23,4	21,3	18,6	17,2	17,6	19,2	22,3	23,4	23,2
4	23,4	23,5	23,8	23,1	21,0	18,3	16,8	17,3	19,0	21,9	23,2	22,9
5	23,0	23,2	23,5	22,8	20,5	17,8	16,3	17,0	18,5	21,6	22,9	22,7
6	22,8	22,9	23,3	22,5	20,1	17,0	15,6	16,4	18,1	21,3	22,7	22,4
7	22,5	22,7	23,0	22,3	19,6	16,5	15,0	15,8	17,5	21,0	22,5	22,2
8	22,4	22,5	22,7	22,0	19,2	15,9	14,4	15,2	17,0	20,5	22,2	21,9
9	22,1	22,2	22,5	21,7	18,8	15,4	13,8	14,6	16,5	20,2	21,9	21,8
10	22,7	22,7	22,9	22,1	19,1	15,3	13,4	14,5	16,8	20,9	22,7	22,6
11	23,8	23,8	24,0	23,3	20,6	17,4	15,7	16,8	19,0	22,3	23,7	23,6
12	24,8	24,9	25,0	24,5	22,1	19,4	18,0	19,0	20,9	23,5	24,5	24,6
13	25,6	25,7	25,9	25,4	23,4	21,1	19,8	20,4	22,1	24,3	25,2	25,3
14	26,1	26,3	26,4	26,0	24,2	22,1	21,0	21,4	22,9	25,0	25,8	25,9
15	26,5	26,7	26,8	26,4	24,7	22,8	21,7	22,1	23,6	25,6	26,3	26,2
16	26,8	26,9	27,1	26,7	25,1	23,1	22,0	22,5	24,0	25,9	26,5	26,5
17	26,9	27,2	27,1	26,8	25,2	23,2	22,3	22,7	24,2	26,1	26,8	26,7
18	27,0	27,2	27,3	26,9	25,4	23,3	22,4	22,8	24,3	26,2	26,9	26,8
19	26,9	27,3	27,3	26,8	25,3	23,2	22,3	22,7	24,2	26,1	26,7	26,8
20	27,0	27,1	27,2	26,9	25,5	23,2	22,2	22,5	24,0	26,0	26,7	26,7

mudança de estado físico com aumento considerável do Índice de Calor (IC). Após as 16:00 horas, os valores do IC dos meses de outubro a abril foram classificados no nível “que exige cuidados” para os humanos, porque existe a possibilidade de fadiga em casos de exposição e/ou exercício de atividades físicas prolongadas.

Com as devidas reservas quanto à analogia entre os metabolismos do homem e da planta, esse mesmo estresse deve ser considerado, caso se exija maior plenitude do metabolismo da planta na faixa vespertina. Em compensação, nota-se que, no período da manhã, independentemente do mês, se observou que os valores do Índice de Calor são mais baixos que os do período da tarde, o que corresponde aos valores registrados na tabela 4 onde a temperatura média horária das 00:00 a 12:00 horas foi classificada no nível **agradável e morna**.

Seguindo a relevância do conforto térmico nos processos fenológicos, destaca-se o vento. Este elemento se constitui num importante veículo de transporte de calor e umidade, além de proporcionar polinização. Durante todo o ano, a direção média horária predominante do vento em AMB e RCB é a do leste (WeatherSpark, 2018). Na AMB o mês de agosto registrou a maior velocidade com 3,9 m/s, enquanto a mínima 2,5 m/s foi observada em março. A média na AMB foi de 3,1 m/s contra 3,0 m/s da RCB. Notou-se que, na AMB o período maio-setembro responde pela maior dispersão dos dados (Figura 5).

Para Müller & Valle (2012), o cacaueteiro tem pouca tolerância aos ventos excessivos com efeitos danosos no desenvolvimento da planta e na queda prematura das folhas. Conforme estudos citados por esses autores, ventos com velocidades superiores a 2,5 m/s (9 km/h)

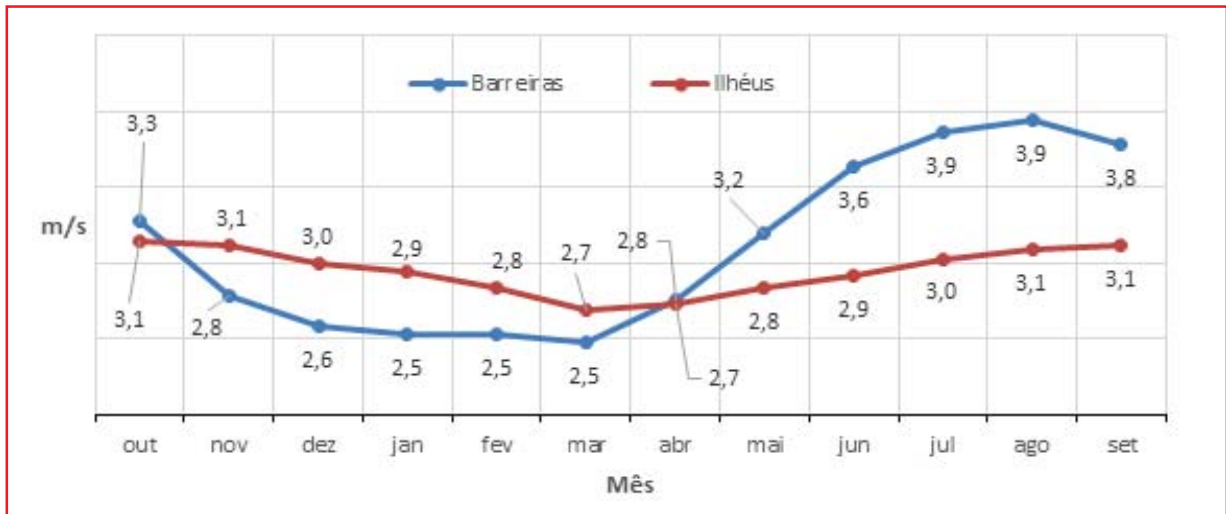


Figura 5. Velocidade do vento (m/s) nos municípios Barreiras e Ilhéus. Período 01/1980 a 12/2016. (Fonte: WeatherSpark.com).

em cultivo a pleno sol e não protegido por quebra-ventos ocasionaram ruptura em 60 a 100% dos pulvinos foliares enquanto que, em cultivo protegido para vento e radiação solar, o máximo registrado foi de 3,1%.

Como citado anteriormente no período abril-julho, período capital para os processos fenológicos da safra principal, ocorreu redução da UR associada ao aumento da velocidade do vento. Esses fatores conexos mostram que estas condições aumentam o desafio do cultivo quanto a adoção de práticas como a polinização mecânica, objetivando aumento da produtividade.

No entanto, Nakayama (2012) avaliando a polinização ventilada sobre a frutificação do cacauero, observou que, por ser o pólen muito viscoso, a ventilação natural mostrava-se incapaz de remover o pólen das anteras. Relatou que a estrutura floral do cacauero não favorece a polinização pelos meios comuns, tais como água e vento natural. Somente com ventilação intensa, preferencialmente **à tarde** e com velocidades entre 60 e 100 km/h durante 23 dias consecutivos observaram-se eventos de pólen transferido da antera para o estigma, em quantidade suficiente para causar polinização fértil e frutífera. Ressaltou

que essa tecnologia concentrou a frutificação e potencializou a redução no número e no custo da colheita de cacau.

Por último, outro elemento importante na avaliação das condições meteorológicas é a temperatura do ponto de orvalho (PO). Nota-se, nos resultados apresentados da Figura 6, que, nas médias horárias das trajetórias mensais, o PO tendeu a variar mais lentamente dentro do que entre meses. Dentre as trajetórias, quatro grupos evidenciaram-se: **i)** julho, agosto e setembro; **ii)** junho e outubro; **iii)** maio; **iv)** e novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril,

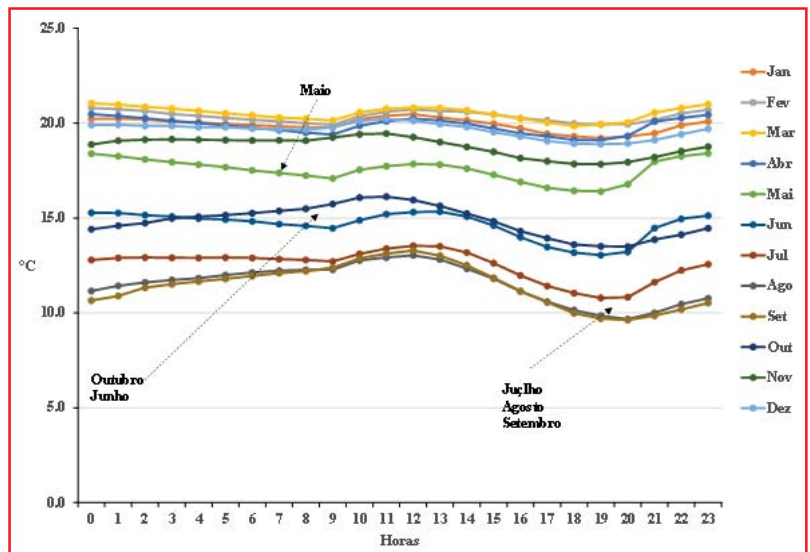


Figura 6. Ponto de orvalho mensal, média horária. Área do município de Barreiras - AMB. Período 2002 - 2023.

com destaque para os meses maio e outubro (que na RCB definem os pontos de inflexão das safras principal e temporã, respectivamente) e, também, para a ocorrência dos menores valores serem registrados no período julho-setembro, período em que se acentua a distribuição dos assimilados entre os processos metabólicos das duas safras.

Nesse primeiro grupo (julho, agosto e setembro), foram registrados as menores razões de mistura, em média 9,4 (g/kg), seguidas das menores temperaturas do ponto de orvalho. A temperatura do ar aumentou, a umidade relativa diminuiu, e a diferença entre o temperatura mínima e a do ponto de orvalho também aumentou. Com o aumento dessa amplitude reduziram-se as chances de ocorrer orvalho nesse período. Ou seja, a redução das chances do ar ficar saturado por umidade nesse período indica que a opção por uma ou duas safras deve ser sustentada em um manejo estratégico e adequado, visando sustentabilidade do sistema de produção.

Aspectos ecofisiológicos do cacaueteiro no Cerrado da Bahia.

No ciclo de vida do cacaueteiro, os elementos climáticos: temperatura do ar e a precipitação pluvial exercem grande influência, especificamente no crescimento vegetativo, florescimento e desenvolvimento do fruto (Almeida e Valle, 2007; Müller e Valle, 2012).

Muller e Valle (2012) afirmam que a chuva é o fator com maior influência nos eventos fenológicos do cacaueteiro. Por sua vez, Arnold et al. (2018) concluíram que as chuvas do mês anterior, das estações chuvosas em Trinidad e Tobago e na Jamaica (clima Aw, na classificação de Köppen) influenciam positivamente a abundância absoluta e relativa das moscas polinizadoras do cacaueteiro (Ceratopogonidae).

Zuidema et al. (2005), através de um modelo fisiológico de crescimento e produção para o cacau sob árvores de sombra, inferiram que a combinação de radiação anual e a precipitação pluvial durante os dois meses mais secos explicam mais de 70% da produtividade do cacau; para locais com forte estação seca combinada com condições edafoclimáticas desfavoráveis e solo excessivamente argiloso ou arenoso, a limitação de água durante os dois meses mais secos é um fator determinante na redução da produção de cacau.

Observou-se que a média da temperatura do ar mensal na AMB variou no período estudado de 23.4 °C a 28.7 °C e a precipitação pluvial mensal de zero a 163.0 mm. No período seco, além da redução expressiva do volume de chuva, ocorre também queda na umidade relativa do ar, déficit elevado de pressão de vapor; alta intensidade de radiação solar, sendo essas condições desfavoráveis ao desenvolvimento dos insetos polinizadores. Ou seja, na estação seca, os elementos climáticos, especialmente a chuva, têm efeito direto na sazonalidade das condições do ar e também diretamente alteram as respostas ecofisiológicas dos cacaueteiros e dos insetos polinizadores, em particular.

O desafio do cacaueteiro será então de se adaptar a esses limiares de estresse hídrico e térmico, especialmente no período seco. Nesse período, inicialmente recomenda-se especial atenção na ação dos ventos, na poda de formação e condução, na durabilidade das folhas dos cacaueteiros e tempo de desenvolvimento do fruto. A umidificação do ar no microclima não deve ser relegada.

Nas condições apresentadas, qualquer evento fenológico estará sempre susceptível às inflexões e respostas das fortes tensões ambientais. Comparando a RCB com a AMB (Tabela 9), observou-se que na média, a diferença entre as temperaturas do ar foi de 1,6 °C. Quanto à precipitação pluvial, a diferença é expressiva, principalmente no período seco. A média 4,4 mm do período seco da AMB contra 116,2 mm da RCB corresponde a 26 vezes menos. Esses resultados sugerem que a água disponível e o conforto térmico no período seco são componentes determinantes do

Tabela 9. Médias das temperaturas do ar e precipitação pluvial nos períodos anual, seco e úmido, nas regiões Oeste (AMB) e Sudeste da Bahia (RCB).

	Período	Média da Temperatura do ar °C	Média da Precipitação pluvial (mm)
AMB	Anual	25,6	67,4
	Úmido	26,1	112,3
	Seco	24,9	4,4
RCB	Anual	23,7	133,4
	Úmido	24,8	146,9
	Seco	22,1	114,5

sistema de produção de cacau na AMB. Ou seja, na AMB, atenção especial deve ser concedida aos processos metabólicos do cacauero em relação a dinâmica climática do período seco.

Em resumo, diante das condições específicas do ambiente climático da AMB sugere-se avaliar a adaptação funcional (vegetativa e produtiva) do cacauero com base nos seguintes encadeamentos:

1. O advento das chuvas em outubro viabiliza o processo vegetativo da safra temporã.

2. Com o início de maiores volumes de chuva a partir de outubro, evidencia-se o processo vegetativo (lançamento foliar). Em seguida, o processo da floração e o reprodutivo (especificamente, a bilração ou frutos com até 21 dias de desenvolvimento).

3. No segundo período, de maior acúmulo térmico ou acúmulo diário de energia, o gerenciamento de práticas adequadas de manejo e a disponibilização dos recursos hídricos e nutricionais tornam-se imperativos, para o processo reprodutivo da safra temporã. Segundo Muller e Valle (2012), quando o cacauero é submetido à luminosidade intensa, seu metabolismo acelera significativamente. Além da intensidade da luz, esses autores, determinaram que a concorrência exercida pelas folhas jovens emitidas posteriormente tem influência direta, tornando menor o período de permanência das folhas nas plantas. Sodré et. al (2017) observaram que em áreas não tradicionais de plantio do cacauero o aumento da frequência de lançamentos foliares esteve associado à intensa luminosidade.

De maneira geral, infere-se que o período úmido na AMB oferece condições ecofisiológicas mais apropriadas para maior armazenamento e partição de assimilados, condições associadas diretamente ao rendimento do cacauero. No entanto, no segundo período, para se obter o desenvolvimento ideal dos frutos, tornam-se indispensáveis o gerenciamento de práticas de manejo e reabastecimento de recursos hídricos e nutricionais adequados, a exemplo da irrigação e da fertirrigação.

Destaca-se ainda que, no segundo período, o teor de água e de nutriente no solo deve ser constantemente mantido em condições próximas às ideais. Isso se justifica porque a capacidade de absorção de água e nutrientes depende, entre outros fatores, da dinâmica das raízes finas - taxas de mortalidade e regeneração dessas raízes (Almeida e Valle, 2007).

Justificando a importante dinâmica das raízes finas do cacauero sombreado, Almeida e Valle (2007) citando Muñoz e Beer (2001), mostraram que uma proporção maior de nutrientes é absorvida pelo cacauero no início e não no final da estação chuvosa, sugerindo que a eficiência produtiva dos eventos fenológicos no período úmido depende da gestão agroecológica no segundo período, especialmente no subperíodo julho-setembro.

Conforme Müller e Valle (2012) citando Almeida e Valle (1995) e Vello et al. (1972), a taxa de acúmulo de matéria seca do fruto está diretamente relacionada com o período de enchimento. Este, se relaciona diretamente com o peso da semente. Por sua vez, depende de fatores do ambiente e manejo. Assim, o período seco é fundamental na eficácia desse processo. Destaca-se ainda, que com os materiais genéticos disponíveis, o tempo médio de desenvolvimento do fruto será menor que o de 165 dias registrado na RCB.

Torna-se prudente lembrar que, no contexto de mudança globais e bruscas do estado físico do ambiente, para o cultivo do cacauero na AMB, a atenção ao calendário das práticas agrícolas deve ser considerada de extrema importância. Na região cacaueira da Bahia, Santos Filho (2019) classificou cinco padrões de perfis do fruto bilro - fruto até 21 dias de desenvolvimento (Figura 1). Essas trajetórias do fruto bilro confirmam que, na RCB, devido as condições meteorológicas, ocorrem grandes variações periódicas tanto na intensidade de lançamento foliar como na intensidade de floração e, conseqüentemente, no ciclo de frutificação. Ou seja, na AMB, deve-se dobrar a atenção ao manejo hídrico em relação aos processos metabólicos do cacauero e dinâmica climática do período seco.

Outros cuidados especiais devem ser observados quanto à estiagem cíclica no período úmido. Luiz e Silva (2023), por meio de simulação, observaram forte efeito negativo dos anos de El Niño sobre a produtividade da soja nas semeaduras de setembro e outubro, nas condições do clima do cerrado em Planaltina, DF. Assim, em se tratando de um cultivo perene, como o cacauero, não há por que não associar efeitos mais intensos e lesivos deste fenômeno, especialmente no período seco.

Enfim, é esperado que a eficiência produtiva do cacauero no período seco seja influenciada por um

conjunto de elementos que atuam e interagem dinamicamente entre si e, neste caso, as práticas agrícolas, em condições de pleno sol, se resumiriam a viabilizar as condições do ar próximas as ideais para sustentar especificamente o processo vegetativo da temporã consecutiva.

Considerações Finais

Nossos resultados sustentam a expansão de novas fronteiras agrícolas através do cultivo do cacau no oeste da Bahia, entretanto sugerem estudos que objetivem:

i. Avaliar o custo/benefício na perspectiva de se colher duas safras (dois ciclos reprodutivos) por ano agrícola. Segundo Cazorla et al. (1989), no ano agrícola do cacau da RCB, existe dois ciclos reprodutivos superpostos, o da safra temporã e outro da safra principal. Em consequência, inicia-se um evento fenológico com outro em andamento. No ano em que o perfil sofre modificações, o ciclo reprodutivo imediatamente posterior reflete essa interferência na normalidade fisiológica da planta.

ii. Avaliar a utilização de estratégias como tipos de poda, uso de quebra ventos, sombreamento que priorize o cultivo do cacau, fertilização e irrigação que evitem a perda excessiva de água por transpiração. Nota-se que o cacau tem relativamente baixa taxa fotossintética em relação a outros cultivos. A pleno sol, sua folha atinge capacidade máxima fotossintética entre 20 e 30 dias (Müller e Valle, 2012).

iii. Elaboração de calendário das práticas agrícolas, se possível setorizado dentro da propriedade, ressaltando que, no inverno, as plantações vivem o período de desaceleração metabólica, exigindo assim flexibilidade na execução das práticas de manejo. O enchimento adequando do fruto, que reflete fortemente na massa da amêndoa seca, requer adoção de momentos precisos de manejo hídrico, ambiental e nutricional das plantas.

iv. Avaliar os padrões fenológicos entre clones e condições de manejo. A produção de cacau não depende exclusivamente das condições dos elementos climáticos existentes no momento de formação e desenvolvimento dos frutos, o qual em média acontece em cinco meses (Cazorla et al., 1989), mas de

períodos bem definidos que antecedem a estes processos fenológicos. Leite et al. (1987) observaram correlações positivas e estatisticamente significativas entre as safras temporã e global com a precipitação pluvial e a residência do lençol freático nos meses de outubro a março da RCB. Por outro lado, esses autores acrescentam que outubro, novembro e abril são meses que imediatamente seguem bimestres de intenso refohamento do cacau. Eles concluem "... que a produção agrícola resulta de condições climáticas durante os processos fenológicos (lançamento foliar, floração e frutificação) que a antecedem num período mais extenso do que o necessário simplesmente para o desenvolvimento e maturação dos frutos" (Leite et al., 1987).

v. Avaliar a aplicação dos resultados de Samuel et al. (2024). Numa zona de floresta tropical do sudoeste da Nigéria (3 a 4 meses de estação seca), esses autores mostraram que a sombra e a irrigação na estação seca afetaram o uso da água pelos cacaueiros, assim como as características da copa e a produtividade da planta. Relataram também que a irrigação por gotejamento parece ser útil para gerenciar a água e aliviar o período terminal da estação seca (hidrotérmica). É necessário ressaltar que a irrigação deve possibilitar a gestão da água, como também, a quantidade de água necessária para a produção de folhas e satisfazer a evapotranspiração do sistema.

Literatura Citada

- ALMEIDA, A. A. F. de; VALLE R. R. 2007. Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19(4):425-448.
- ALMEIDA, H. A. de; MACHADO, R. C. R. 2009. Estimativa da duração do período de molhamento por orvalho em um ecossistema cacau. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 13(6):724-728
- ARNOLD, S. E. J. et al. 2018. The significance of climate in the pollinator dynamics of a tropical agroforestry system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 254:1-9. DOI:10.1016/j.agee.2017.11.013

- CAZORLA, I. M.; AIDAR, T.; MILDE, L. C. E. 1989. Perfis de lançamento foliar, da floração da bilração e de estágios do frutos do cacauzeiro no estado da Bahia, no período 1977/78-1987/88. MAPA/CEPLAC/CEPEC. Ilhéus/Bahia. Boletim Técnico s/n. 58p.
- RODRIGUES, L. G.; MOREIRA, P. B. A.; SANTOS, L. F.; TEIXEIRA, Y. N.; FIRMINO, P. R. A.; OLIVEIRA, C. C. F. 2022. Balanço Hídrico e Classificação Climática para Estação Meteorológica do Cariri. Revista Brasileira de Geografia Física 15(2): 618-633.
- GUSSON, A. E. 2017. Diversidade, mudanças temporais e os efeitos de uma estação seca prolongada na regeneração em floresta estacional decidual. Tese Doutorado. Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais.
- KÖPPEN, W. 1936. Das geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Eds): Handbuch der Klimatologie. Berlin: Gebrüder Bornträger. Banda 1, Parte C. pp. 1-44.
- LEITE, J. de O.; VALLE, R. R.; SILVA, C. P. da; DIAS, B. R. 2000. Relações entre a precipitação, o lençol freático e a produção de cacau na Bahia. Agrotrópica 12(2):67-74.
- LUIZ, A. J. B.; SILVA, F. A. M. da. 2023. Efeito de El Niño e La Niña na produtividade da soja em planaltina/DF. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 22. 2023. Natal-RN. Edição Técnica: Bergson Guedes Bezerra e David Mendes.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. O Bioma Cerrado. <https://antigo.mma.gov.br/biomas/cerrado.html#:~:text=Depois%20da%20C3%A9,progressivo%20esgotamento%20Mata%20Atl%C3%A2ntica%2C%20o%20Cerrado%20%20regi%C3%A3o>. Acesso: jun. 2024.
- MULLER, M. W.; VALLE, R. R. M. 2012. Ecofisiologia do Cultivo do Cacauzeiro. In: Ciência, Tecnologia e Manejo do Cacauzeiro. 2a. Edição. Valle, R. R. M. (Ed.). MAPA/CEPLAC. Brasília, DF. pp. 31-66.
- SAMUEL, A.; FRIDAY, C.; BABADELE, F. 2024. Cacao water use, canopy characteristics and yield as affected by irrigation and shade in a rainforest zone of Nigeria. International Journal of Environment Climate Change, 14(2):958-978.
- SANTOS FILHO, L. P. DOS; LUZ, E. D. M. N.; VALLE, R. R.; MULLER, M. W. 2020. Considerações sobre a fenologia de lançamento foliar, floração e frutificação do cacauzeiro na região Sudeste da Bahia. MAPA/CEPLAC/CEPEC. Ilhéus/Bahia. Boletim Técnico n° 218. 26p.
- SANTOS FILHO, L. P. 2019. Perfis temporais do fruto bilro na Região Cacauzeira da Bahia, anos agrícolas 1977/78-2018/19. MAPA/CEPLAC/CEPEC. Ilhéus/Bahia. Boletim Técnico n° 217. 24p.
- SILVA, H. L. de S; PEREIRA, J. C. A.; SILVA, M. G. da. 2019. Estimativa do período molhamento e ponto de orvalho como fator de controle de patógenos agrícolas. In: Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, 1. Universidade Federal de Campina Grande. CONIDIS. <http://www.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/23798>. Acesso: maio/2024.
- SOARES, L. C.; ANDRADE, R. G.; HOTT, M. C.; MAGALHÃES JUNIOR, W. C. P. de. 2021. Estimativa e espacialização do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) na Região Sudeste do Brasil. Embrapa Gado de Leite. Passos, L. P. (ed.). Coletânea de Iniciação Científica da Embrapa Gado de Leite-PIBIC/CNPq 2020-2021. Documentos, 262. Juiz de Fora, MG, Embrapa Gado de Leite. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/226294/1/Estimativa-espacializacao.pdf>. Acesso: mar.2024.
- SODRÉ G. S.; MARROCOS P. C. L.; SARMENTO, D. A. 2017. Cultivo de Cacauzeiro no estado do Ceará. MAPA/CEPLAC/CEPEC. Ilhéus/Bahia. Boletim Técnico n° 209. 34p.
- WEATHERSPARK. 2018. Weatherspark.com and Cedar Lake Ventures, Inc. Clima e condições meteorológicas médias em Barreiras no ano

todo Bahia, Brasil. <https://pt.weatherspark.com/y/30524/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Barreiras-Bahia-Brasil-durante-o-ano>.

ZUIDEMA, P. A.; LEFFELAAR, P. A.; GERRITSMAN, W.; MOMMER, L.; ANTEN, N.

P. R. 2005. A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. *Agricultural Systems* 84(2):195-225.

