

## PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA DE CUPUAÇUZEIRO IRRIGADO NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DE CASTANHAL-PA, AMAZÔNIA BRASILEIRA

**DEBORAH LUCIANY PIRES COSTA<sup>1</sup>; IGOR CRISTIAN DE OLIVEIRA VIEIRA<sup>2</sup>; ERIKA DE OLIVEIRA TEIXEIRA<sup>3</sup>; MATHEUS YAN FREITAS SILVA<sup>4</sup>; MARIA DE LOURDES ALCÂNTARA VELAME<sup>5</sup> E PAULO JORGE DE OLIVEIRA PONTE DE SOUZA<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> Laboratório de Agrometeorologia, Universidade Federal Rural da Amazônia - Campus Belém - PA, Av. Tancredo Neves, nº 2501 - Terra Firme - CEP. 66.077-830, Belém, PA, Brasil, [deborahpires.agro@gmail.com](mailto:deborahpires.agro@gmail.com).

<sup>2</sup> Departamento de Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n, Bairro Rural, CEP. 14.884-900, Jaboticabal/SP, Brasil, [cristianigor67@gmail.com](mailto:cristianigor67@gmail.com).

<sup>3</sup> Laboratório de Agrometeorologia, Universidade Federal Rural da Amazônia - Campus Belém - PA, Av. Tancredo Neves, nº 2501 - Terra Firme - CEP. 66.077-830, Belém, PA, Brasil, [eriikateixeira@hotmail.com](mailto:eriikateixeira@hotmail.com).

<sup>4</sup> Laboratório de Proteção de Plantas, Universidade Federal Rural da Amazônia - Campus Belém - PA, Av. Tancredo Neves, nº 2501 - Terra Firme - CEP. 66.077-830, Belém, PA, Brasil, [matheus.yan.silva@gmail.com](mailto:matheus.yan.silva@gmail.com).

<sup>5</sup> Laboratório de Agrometeorologia, Universidade Federal Rural da Amazônia - Campus Belém - PA, Av. Tancredo Neves, nº 2501 - Terra Firme - CEP. 66.077-830, Belém, PA, Brasil, [alcantaravelame@gmail.com](mailto:alcantaravelame@gmail.com).

<sup>6</sup> Laboratório de Agrometeorologia, Universidade Federal Rural da Amazônia - Campus Belém - PA, Av. Tancredo Neves, nº 2501 - Terra Firme - CEP. 66.077-830, Belém, PA, Brasil, [paulo.jorge@ufrpa.edu.br](mailto:paulo.jorge@ufrpa.edu.br).

### 1 RESUMO

O cupuaçuzeiro é uma espécie promissora para o desenvolvimento sustentável da agricultura na Amazônia, porém, ainda está no processo de domesticação, sendo necessário estudos fitotécnicos para otimizar a produção de seus frutos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade e eficiência do uso da água (EUA) do cupuaçuzeiro sob diferentes disponibilidades hídricas no município de Castanhal, PA. O experimento foi conduzido entre os anos de 2018 e 2020, representando duas safras, com uso de irrigação por microaspersão em um plantio de 0,3 ha da cultivar BRS-Carimbó. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com quatro, tratamentos e 10 repetições, os tratamentos aplicados foram: TS (sem irrigação - sequeiro), T50, T100 e T150, referentes a 50%, 100% e 150% da evapotranspiração de referência, respectivamente. Foi realizada análise de variância, utilizou-se o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) e análise de regressão. Os resultados demonstraram melhor desempenho no T100, sendo superior em 68% na produção de frutos que o TS, a produtividade e EUA ajustaram-se a modelos de regressão polinomiais. A EUA foi máxima no T100 ( $2,615 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) e mínima no TS ( $1,105 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) Logo, indica-se que a irrigação em pomares de cupuaçuzeiro seja igual a 100% da evapotranspiração de referência.

**Keywords:** *Theobroma grandiflorum* (Wild.Ex.Spreng.) Schum, irrigação, rendimento, consórcio, clima.

**COSTA, D. L. P.; VIEIRA, I. C. DE O.; TEIXEIRA, E. DE O.; SILVA, M. Y. F.;  
VELAME, M. DE L. A.; SOUZA, P. J. DE O. P. DE  
YIELD AND WATER USE EFFICIENCY OF IRRIGATED CUPUAÇU TREES  
UNDER THE CLIMATE CONDITIONS OF CASTANHAL-PA, BRAZILIAN  
AMAZON**

## 2 ABSTRACT

Cupuaçu tree is a promising species for the sustainable development of Amazonian agriculture. However, it is still in the domestication phase and requires phytotechnical studies to optimize fruit production. The objective of this study was to evaluate the yield and water use efficiency (WUE) of cupuaçu trees under different levels of water availability in the municipality of Castanhal-PA. The experiment was performed between 2018 and 2020 during two harvests, using micro-sprinkler irrigation in a 0.3 ha plantation of the BRS-Carimbó cupuaçu cultivar. The experimental design was completely randomized, with four treatments and 10 replications. The treatments were: TS (without irrigation - rainfed), T50, T100, and T150, referring to 50%, 100%, and 150% of the reference evapotranspiration, respectively. Analysis of variance and comparison of means were performed by the Tukey test ( $p < 0.05$ ), in addition to regression analysis. The results showed better performance in response to T100, which had fruit production 68% higher than TS. The results of yield and WUE were adjusted by polynomial regression, with maximum WUE for T100 ( $2.615 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) and minimum for TS ( $1.105 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ). Therefore, irrigation must be equal to 100% of the reference evapotranspiration in cupuaçu plantations.

**Keywords:** *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K.Schum, irrigation, yield, intercropping, climate.

## 3 INTRODUÇÃO

O cupuaçuzeiro [*Theobroma grandiflorum* (Wild.ex.Spreng.) Schum] é uma espécie vegetal de porte arbóreo, de origem tropical, perene e pertencente à família Malvaceae, se destaca pela produção de seus frutos, cupuaçu, que tem grande importância nutricional e socioeconômica (DIAS *et al.*, 2019). Apesar dessa relevância, é uma cultura que ainda se encontra em processo de domesticação, e por esse motivo, informações técnicas para sua produção comercial são necessárias.

Na Amazônia, o cupuaçuzeiro é cultivado em solos de várzea alta e de terra firme, geralmente, é disposto em sistemas de consórcios com outras frutíferas, como

cacaueiro, açaizeiro, bananeira ou em sistemas agroflorestais (ALVES *et al.*, 2014; ALVES *et al.*, 2018).

O fruto do cupuaçu é do tipo baga, com formato alongado e extremidades arredondadas, possui uma casca lenhosa, sua polpa é ácida e mucilaginosa de cor amarelada, creme ou branca e apresenta sabor agradável e aroma ativo (SOUZA *et al.*, 2011). A safra dos frutos de cupuaçu ocorre no período de maior precipitação, com produção concentrada no primeiro trimestre do ano (SOUZA *et al.*, 2007).

A espécie é considerada uma das mais importantes para o desenvolvimento da agricultura sustentável na Região Amazônica, pois apresenta dupla aptidão, fornecendo polpa e sementes, além de adaptar-se bem em sistemas consorciados

(TEIXEIRA *et al.*, 2020). No mercado alimentício, a polpa do cupuaçu é amplamente consumida como suco, geleia e sorvete, e também vem crescendo na composição de licores e cervejas. A amêndoa do fruto é matéria prima para a produção do cupulate, que é o chocolate de cupuaçu (NUNES CLÍMACO *et al.*, 2019). Além do ramo de alimentos, o cupuaçu tem importância na indústria de cosméticos e farmacêutica, entre os principais motivos, salienta-se a composição de sua polpa, que é rica em fitoquímicos, antioxidantes e vitaminas fundamentais para a saúde, com destaque para o ácido ascórbico (PUGLIESE *et al.*, 2013).

Em decorrência dessa importância socioeconômica da espécie, os plantios comerciais de cupuaçuzeiros cresceram nos últimos anos (PEREIRA; ABREU; RODRIGUES, 2018). O estado do Pará é um dos principais produtores, contribuindo com 27.510 toneladas de frutos, apresentando rendimento médio de 3.219 kg ha<sup>-1</sup> destacando-se a produção nos municípios de Acará, Tomé-Açu e Moju, todos localizados no nordeste paraense (SEDAP, 2020).

O cupuaçuzeiro apresenta tolerância razoável aos períodos curtos de déficit hídrico. Apesar disso, quando submetido a esse tipo de deficiência, pode exibir redução em sua biomassa, altura, área foliar e diâmetro do caule, além de alterações fisiológicas que impactam diretamente em sua produtividade (CUNHA *et al.*, 2018).

O estado do Pará, localizado no leste da Amazônia, apresenta tipos climáticos (Aw e Am) caracterizados por um período de menor volume de chuvas durante o ano (ALVARES *et al.*, 2014). Além de sofrer impactos em função da ocorrência de eventos climáticos, como o *El Nino*, que provoca irregularidades na precipitação e temperatura do ar (DAVIDSON *et al.*, 2012).

Uma solução para contornar essas adversidades é o uso da irrigação em

sistemas produtivos no intuito de evitar a ocorrência de déficit hídrico e consequente diminuição de produtividade, sendo essa; portanto, uma estratégia indispensável para o aumento da produtividade em cultivos do cupuaçuzeiro (SOUZA *et al.*, 2019). Assim, percebe-se o quanto a irrigação é imprescindível para garantir o suprimento hídrico e uma produção adequada, principalmente, em locais onde as chuvas ocorrem de maneira irregular como é o caso do estado do Pará (TESTEZLAF, 2017; RADIN; SCHÖNHOFEN; TAZZO, 2018), uma vez que o atendimento das necessidades hídricas dessa cultura permitirá o bom funcionamento do seu metabolismo que ocorre por meio de processos transpiratórios e fotossintéticos, possibilitando assim, ganhos de produtividade (PALHETA *et al.*, 2018).

No entanto, é necessário que o manejo da irrigação seja feito de forma eficiente e racional, evitando-se o desperdício de recursos hídricos e financeiros (ALMEIDA *et al.*, 2019). Um dos conhecimentos necessários para o uso adequado da irrigação é a determinação da evapotranspiração da cultura e dos seus coeficientes de cultivos, que ainda não foram definidos para o cupuaçuzeiro. Nesse contexto, uma alternativa para que os agricultores possam aplicar lâminas de irrigação adequadas, é a observação da evapotranspiração de referência (BELAY *et al.* 2019).

O conhecimento da eficiência do uso da água (EUA), que se caracteriza pela relação entre a produção e as entradas de água no sistema de cultivo, permite identificar as reais necessidades hídricas das culturas, proporcionando um fornecimento adequado de água, reduzindo as perdas de produtividade, e garantindo o uso mais sustentável dos recursos hídricos (OLIVEIRA, *et al.*, 2011). A EUA varia de acordo com fatores edafoclimáticos e da espécie (ALI; KLEIN, 2014).

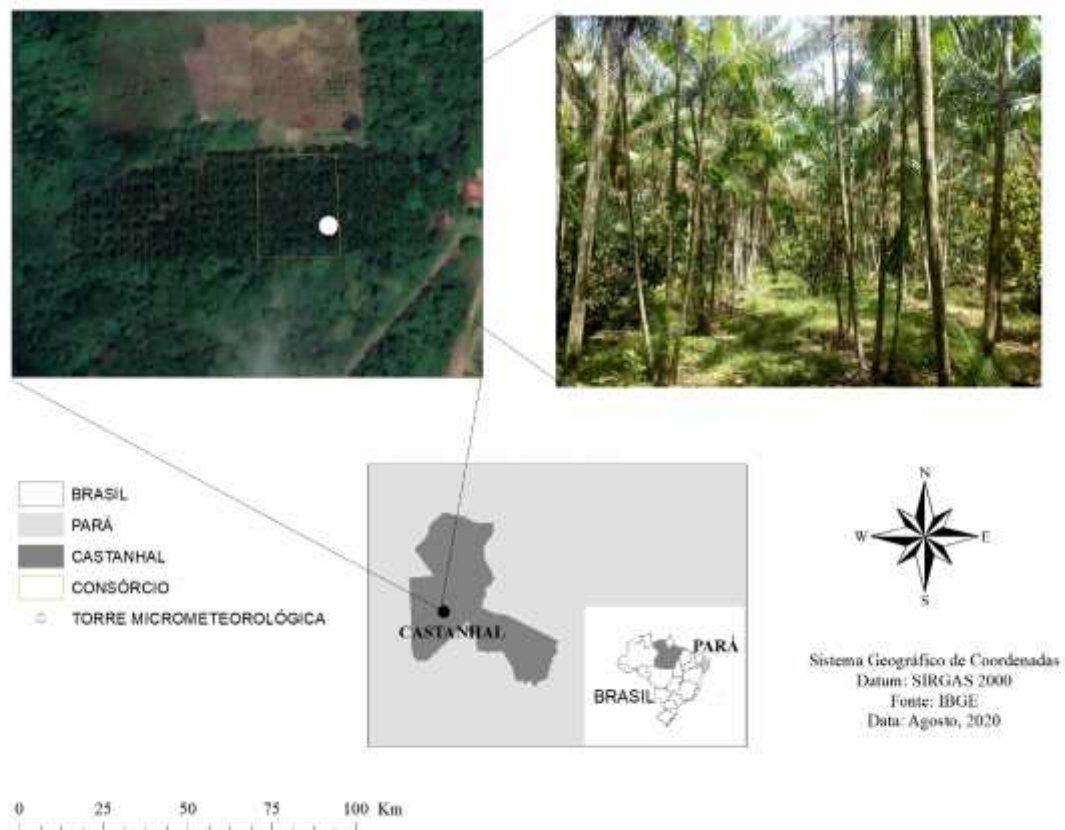
Embora o cupuaçuzeiro apresente importância socioeconômica regional e grande potencial de mercado nacional e internacional, não há pesquisas suficientes relacionadas a sua demanda hídrica e sobre as interações solo-planta-atmosfera bem como estudos relacionados às práticas de manejo desse cultivo irrigado. Portanto, o objetivo deste estudo foi determinar a produtividade e a eficiência do uso da água pelo cupuaçuzeiro cultivado sob diferentes lâminas de irrigação no município de Castanhal, estado do Pará, Brasil.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área experimental

O experimento foi realizado em um plantio comercial de cupuaçuzeiro, com área de 0,3 ha, localizado no Município de Castanhal, PA, Região norte do Brasil ( $1^{\circ}19'24,48''S$  e  $47^{\circ}57'38,20''W$ ) (Figura 1). As avaliações foram realizadas durante os anos de 2018, 2019 e 2020, correspondendo à idade de sete, oito e nove anos de plantio, respectivamente. O solo da área foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico, de textura franco arenosa (EMBRAPA, 2018). O clima é do tipo Am segundo a classificação de Köppen, caracterizado como tropical úmido, com temperatura média anual em torno de  $26^{\circ}C$  e precipitação pluviométrica anual acima de 2.000 mm (ALVARES *et al.*, 2014).

**Figura 1.** Localização da área experimental. Castanhal, Pará, Brasil.



O plantio foi instalado no ano de 2011, o solo foi preparado com uma roçagem, duas gradagens e uma calagem dolomítica. As covas de plantio foram de dimensões de 0,4 m x 0,4 m, foram adicionadas adubação fosfatada e nitrogenada. A cultivar utilizada foi a BRS-Carimbó, com espaçamento de plantio de 8 m x 8 m, com fileiras intercaladas em sistema de consórcio com plantas de açaizeiro dispostas com espaçamento de 4

m x 8 m. Até aos seis anos de idade, o cultivo foi manejado em sequeiro, ou seja, sem uso de irrigação.

No ano de 2018 foram realizadas coletas de amostras deformadas e indeformadas para caracterização química e físico-hídrica do solo nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm (Tabela 1). As análises foram realizadas no departamento de solos da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).

**Tabela 1.** Caracterização química e físico-hídrica do solo da área experimental, plantio de cupuaçuzeiro em Castanhal, PA.

<i>Atributos químicos</i>	<b>0-20 cm</b>	<b>20-40cm</b>
pH (H <sub>2</sub> O)	5,320	4,940
Matéria orgânica (%)	0,714	0,666
Fósforo (mg dm <sup>-3</sup> )	0,925	6,849
Potássio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,25	0,505
Cálcio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,295	0,098
Magnésio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,097	0,097
Alumínio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,263	0,789
<i>Atributos físicos-hídricos</i>		
Areia (%)	85,564	89,105
Silte (%)	9,545	3,079
Argila (%)	4,891	7,815
Densidade do solo (g cm <sup>-3</sup> )	1,417	1,893
Capacidade de campo (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,213	0,570
Ponto de murcha permanente (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,061	0,234

Durante os anos de avaliação experimental, o cultivo de cupuaçuzeiro foi manejado com adubação química correspondendo a 2,0 kg ano<sup>-1</sup> da formulação química 13% N, 11% P, 21% K + 2% Mg e 0,2% B, e orgânica com aplicação de t ha<sup>-1</sup> de mamona, ambas adubações foram parceladas em três aplicações ao longo do ano, nos meses de maio, setembro e dezembro. O controle de plantas daninhas foi realizado trimestralmente por meio de capina física com uso de roçadeira.

## 4.2 Monitoramento das condições meteorológicas

Na área experimental foi montada uma torre micrometeorológica de 17 m de altura, na qual foram instalados sensores a dois metros acima da copa das plantas para o monitoramento da precipitação pluviométrica (TB4, *Hydrological Services*, Sydney, NSW, AUS), temperatura e umidade relativa do ar (HMP45C, *Campbell Scientific Instrument*, Logan, UT, USA). Esses equipamentos realizavam leituras a cada 10 segundos e o armazenamento de médias era computado a cada 20 minutos por um *Datalogger* (CR1000, *Campbell Scientific Instrument*, Logan, UT, USA). O acompanhamento do

conteúdo volumétrico do solo foi realizado por meio da técnica de Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) (CS616, *Campbell Scientific Instrument*, Logan, UT, USA), as sondas de TDR foram inseridas no solo na profundidade de 0-0,3 m, verticalmente em cada tratamento, iniciando-se o monitoramento do conteúdo volumétrico do solo em agosto de 2018. A precipitação efetiva foi determinada a partir de observações de precipitação interna e do escoamento do tronco.

#### 4.3 Tratamentos e manejo da irrigação

O experimento foi dimensionado em delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos e 10 repetições. Cada tratamento apresentava área de 743,85 m<sup>2</sup>. Os tratamentos consistiram de diferentes disponibilidades hídricas determinadas em função da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) diária, que foi estimada pelo método de Penman-Monteith (FAO 56) (ALLEN *et al.*, 1998), uma vez que não existem informações sobre a evapotranspiração máxima para o cupuaçuzeiro, sendo definidos como:

TS – tratamento sequeiro, 0% da ET<sub>0</sub>, ou seja, a entrada de água foi somente pela chuva;

T50 – tratamento irrigado com 50% da ET<sub>0</sub>;

T100 – tratamento irrigado com 100% da ET<sub>0</sub>;

T150 – tratamento irrigado com 150% da ET<sub>0</sub>.

Os dados para a estimativa de ET<sub>0</sub> foram obtidos da estação meteorológica automática gerenciada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada a 2,6 km da área experimental. A partir dos valores diários de ET<sub>0</sub>, foi determinada a lâmina de irrigação, conforme a Equação 1.

$$L = (E_0 - P) / e \quad (01)$$

Em que:

LB – Lâmina de bruta de irrigação (mm);

P<sub>ef</sub> – Precipitação efetiva (mm);

e<sub>f</sub> – Eficiência do sistema de irrigação (%).

O tempo de irrigação de cada tratamento foi estimado pela Equação 2.

$$T = \frac{L}{I} \quad (02)$$

Em que:

TI – Tempo de irrigação (h);

LB – Lâmina bruta de irrigação (mm);

IA – Intensidade de aplicação de água (mm h<sup>-1</sup>).

As plantas foram irrigadas diariamente durante os anos de 2018 e 2019 durante o segundo semestre do ano, que correspondeu a menor ocorrência de precipitação pluviométrica no local. Utilizou-se um sistema de irrigação localizada por microaspersão, sendo posicionado um emissor (microaspersor) por planta, com pressão de serviço de 5,5 mca e vazão de 34,0 L h<sup>-1</sup>. A eficiência do sistema de irrigação foi de 86% e 94%, em 2018 e 2019, respectivamente.

#### 4.5 Produtividade e eficiência do uso da água

A produtividade foi mensurada por meio de coleta da massa dos frutos, com utilização de balança digital, que apresentava capacidade de mensuração igual a 40,0 kg, sensibilidade de 4,0 g e precisão de cinco dígitos.

Foram avaliadas duas safras:

- 1ª avaliação: Safra 2018/2019 – frutos colhidos em janeiro, fevereiro e março de 2019, que são frutos resultantes

da fenologia e da influência ambiental de abril de 2018 a março de 2019;

- 2<sup>a</sup> avaliação: Safra 2019/2020 – frutos colhidos em janeiro, fevereiro e março de 2020, referente à influência dos meses de abril de 2019 a março de 2020.

A eficiência do uso da água foi obtida de acordo a metodologia proposta por Inman-Bamber e Smith (2005), conforme a Equação 3.

$$E = \frac{P}{I+P} \quad (03)$$

Em que:

EUA- Eficiência do uso da água (kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>);

P – Produtividade dos frutos (kg ha<sup>-1</sup>);

I – Irrigação estimada por evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>);

Pef – Precipitação pluviométrica efetiva (mm d<sup>-1</sup>).

Para o cálculo da EUA, foram considerados os somatórios de entradas de água de precipitação efetiva e irrigação de abril de 2018 a março de 2019 para safra 2018/2019, e de abril de 2019 a março de 2020 para a safra 2019/2020.

#### 4.6 Análise estatística

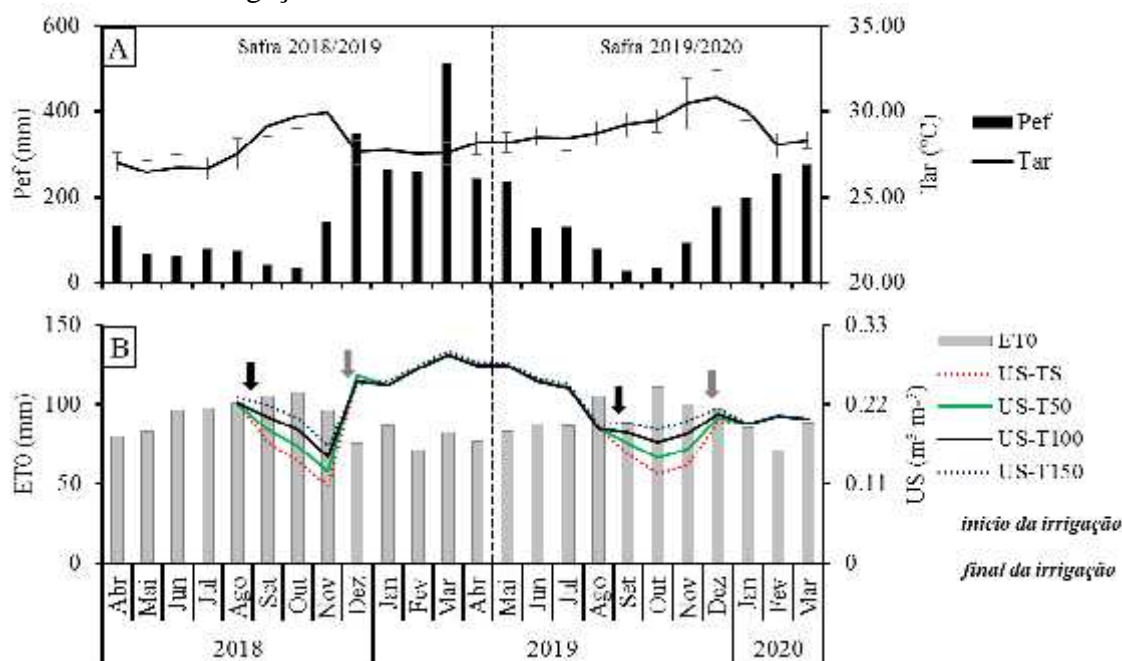
Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), foi aplicado o teste de Tukey (p<0,05). As respostas significativas foram avaliadas quantitativamente por regressões. Utilizou-se do o *software* estatístico PAST (HAMMER, 2001) para as análises estatísticas.

### 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura média do ar (Tar) durante todo o período experimental foi de 28,41°C (±1,23). Na primeira safra, 2018/2019, a Tar apresentou valor médio de 27,79°C, enquanto na segunda safra, 2019/2020, o valor registrado foi de 28,98°C, os valores máximos ocorrem no segundo semestre do ano, principalmente nos meses de setembro, outubro e novembro. Já a precipitação pluviométrica efetiva (Pef) total durante o experimento correspondeu a 3.476,89 mm, sendo 2.020,14 mm na primeira safra, e 1.873,92 mm na segunda safra. A chuva no município de Castanhal apresenta má distribuição ao longo do ano, sendo mais concentradas no período compreendido entre os meses de dezembro e março (Figura 2A).



**Figura 2.** Variáveis ambientais entre o período de abril de 2018 e março de 2020, área experimental com cultivo de cupuaçuzeiro, Castanhal, Pará, Brasil. **A.** Precipitação efetiva (Pef) e temperatura média do ar (Tar). **B.** Evapotranspiração de referência (ET0) e umidade volumétrica do solo (US) dos tratamentos TS – sequeiro; T50 – irrigação com 50% da ET0; T100 – irrigação com 100% da ET0; T150 – irrigação com 150% da ET0.



A evapotranspiração de referência totalizou nas duas safras o valor de 1.921,24 mm, com média de 2,97 mm d<sup>-1</sup>, os maiores valores foram registrados entre os meses de setembro e novembro, com média de 3,33 mm d<sup>-1</sup>. Em 2018, observou-se que o conteúdo volumétrico de água do solo (US) se diferenciou em função das lâminas de irrigação aplicadas, voltando a apresentar valores semelhantes à medida que as chuvas se intensificam no final de novembro de 2018, período de encerramento da irrigação. A US voltou a diferenciar em setembro de 2019, período em que a irrigação foi novamente aplicada (Figura 2B).

O total irrigado em 2018 foi de 69,14 mm no tratamento T50; de 217,41 mm no T100 e de 365,68 mm no T150. Durante o período de irrigação, observou-se

Pef de 79,13 mm, a qual foi considerada como única lâmina de água no tratamento TS. Em média, a lâmina de irrigação aplicada durante 2018 foi de 1,72 mm d<sup>-1</sup> no T50, 3,45 mm d<sup>-1</sup> no T100 e de 5,17 mm d<sup>-1</sup> no T150.

Em 2019, durante o período de irrigação (setembro a início de dezembro), ocorreu chuva efetiva de 138,21 mm, e aplicou-se irrigação de 75,26 mm no T50, com média 1,68 mm d<sup>-1</sup>; enquanto no T100 foram aplicados 150,52 mm, com média diária de 3,36 mm d<sup>-1</sup>, e 225,78 mm no T150, com média nesse tratamento igual a 5,05 mm d<sup>-1</sup>.

Os resultados das duas safras demonstraram que o uso da irrigação no período reprodutivo influenciou positivamente no rendimento dos frutos do cupuaçuzeiro e, conseqüentemente, na eficiência do uso da água (Tabela 2).



**Tabela 2.** Lâmina de água aplicada, valores médios da produtividade e eficiência do uso da água do cupuaçuzeiro nas safras de 2018/2019 e 2019/2020, município de Castanhal, PA.

Safras	LA (mm)		P kg ha <sup>-1</sup>		EUA kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup>	
	2018/2019	2019/2020	2018/2019	2019/2020	2018/2019	2019/2020
TS	2.020,14	1.873,92	1.856,75c	2.267,27c	0,91c	1,30d
T50	2.118,90	1.959,60	4.001,68b	5.095,05b	1,89b	2,60b
T100	2.316,42	2.158,71	4.948,82a	6.215,08a	2,23a	3,00a
T150	2.612,70	2.487,47	4.234,15b	4.965,76b	1,83b	2,25c
ANOVA						
	P-valor		<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	CV (%)		8,26	7,43	8,08	7,23

Obs: TS – sequeiro; T50 – irrigação com 50% da ET0; T100 – irrigação com 100% da ET0; T150 – irrigação com 150% da ET0; LA – lâmina de água aplicada; P – produtividade; EUA - eficiência do uso da água; CV – coeficiente de variação. As médias seguidas de mesmas letras não diferem significativamente entre si ao nível de  $p < 0,05$  com base no teste de Tukey.

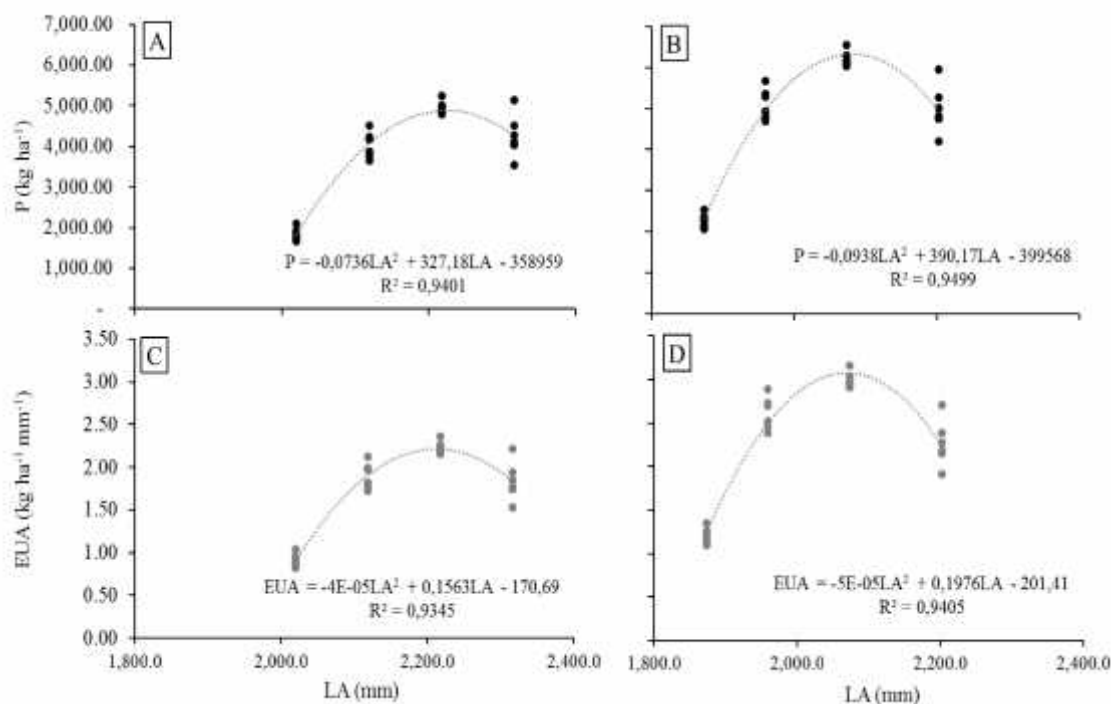
A lâmina de 100% da ET0 apresentou melhor desempenho tanto para a produtividade quanto para a EUA nas duas safras avaliadas, enquanto o TS apresentou menores valores. A EUA variou, em média, entre 1,105 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (TS) e 2,615 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (T100). Na safra de 2018/2019, houve diferença entre o TS e o T100 de 73% para produtividade e de 41% para EUA. Na colheita de 2019/2020, essa diferença foi de 63% e 56% para produtividade e EUA, respectivamente (Tabela 2).

Em contrapartida, os resultados permitiram perceber que a utilização da lâmina de 150% da ET0 não diferiu estatisticamente do tratamento com regas de 50% da ET0, e ainda promoveu diminuição

na produtividade e eficiência do uso da água (Tabela 2). Assim, o uso dessa lâmina, que em média foi de 5,55 mm d<sup>-1</sup>, ocasionou o desperdício de recursos hídricos e econômicos, e; portanto, não deveria ser indicada para o manejo de irrigação do cupuaçuzeiro nas condições do experimento.

Quanto às funções de respostas de produtividade e EUA, as mesmas ajustaram-se ao modelo polinomial de segunda ordem, com coeficiente de determinação acima de 90% (Figura 3). A produtividade máxima estimada pelas equações foi de 4.650,893 kg ha<sup>-1</sup> na safra de 2018/2019 e 6.169,284 kg ha<sup>-1</sup> na safra de 2019/2020.

**Figura 3.** Funções de respostas da produtividade e eficiência do uso da água do cupuaçuzeiro sob diferentes disponibilidades hídricas (lâmina de água aplicada - LA), município de Castanhal, PA. **A e B** - produtividade (P) nas safras de 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente; **C e D** - eficiência do uso da água (EUA) nas safras de 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente.



A produtividade observada neste estudo foi inferior a potencial descrita na circular técnica da cultivar BRS-Carimbó, que é estimada no valor de 11 t ha<sup>-1</sup>, no entanto, esse valor não tem registro de observações em campo. Por outro lado, a produtividade real, que é relatada nas médias municipais do estado do Pará, corresponde à 3,5 t ha<sup>-1</sup> (SEDAP, 2019; ALVES, 2014). Esses cultivos, em geral na Região Amazônica, não possuem irrigação e são consorciados com outras frutíferas, conforme descrito nas pesquisas de Guimarães e Durigan (2018) e Pinho, Miller e Alfaia (2012), uma vez que os agricultores da região culturalmente utilizam o dimensionamento agregando diversidade ao empregar outras plantas agrícolas nos seus cultivos, até mesmo espécies florestais, ou seja, adotando sistemas agroflorestais (SAF's) (ALVES *et al.*, 2018).

Sendo assim, embora a espécie em questão ainda esteja em processo de domesticação e apresente uma variação na produção, os valores de produtividade real são subestimados em relação à produtividade potencial (ALVES *et al.*, 2014). Os resultados alcançados nos tratamentos irrigados deste estudo demonstram que a irrigação é fundamental para aumentar a produção de frutos de cupuaçu, visto que os tratamentos irrigados apresentaram produtividade atingível (Tabela 2 e Figura 3A e 3B) superior à média estadual registrada para a produtividade real (3,5 t ha<sup>-1</sup>).

Verifica-se que há uma grande necessidade de observações em plantas adultas de cupuaçuzeiro, as quais estão em plena produção, pois no que diz respeito às pesquisas com uso de irrigação para essa espécie, as mesmas são direcionadas para plantas em viveiro, ou seja, plantas jovens

(mudas), como no estudo de Palheta *et al.* (2018), que estudaram mudas de cupuaçuzeiro irrigadas e avaliaram seu desempenho por meio de variáveis fisiológicas, e Lozano e Fonseca (2016), que avaliaram plantas de *Theobroma cacao* (mesmo gênero do cupuaçuzeiro) em fase de viveiro em diferentes disponibilidades hídricas nas condições meteorológicas da Bahia.

Quanto ao melhor desempenho de produtividade e EUA encontrado para o tratamento T100, alguns estudos afirmam que durante o período de floração nos pomares de frutíferas, deve-se cessar a irrigação com o objetivo de estimular a emissão floral (SANTOS *et al.*, 2019). Essa é uma informação bastante difundida na agricultura paraense, sendo até uma justificativa para os cultivos em sequeiro.

Entretanto, apesar da fundamentação científica do estresse hídrico na fase de floração, a deficiência hídrica não deve ser contínua, uma vez que posterior a emissão de flores, reprodutivas até a colheita (frutos), logo, é essencial o atendimento da sua demanda hídrica para que as mesmas possam desempenhar de forma eficiente, seus processos metabólicos e fisiológicos, tais como fotossíntese e transpiração (YADAV *et al.*, 2020), conforme o que foi observado neste estudo, já que os tratamentos irrigados, sobretudo o T100, que atendeu a 100% da demanda atmosférica, proporcionaram maior produtividade e EUA.

Os resultados do presente estudo são relevantes, pioneiros e inovadores para o uso da irrigação em cultivos de cupuaçuzeiro no leste da Amazônia, e sobretudo para práticas agrícolas que utilizam sistemas de cultivo em consórcio. Destaca-se que outras informações necessitam de pesquisa, principalmente, a avaliação econômica das lâminas de irrigação utilizadas neste estudo, em especial, as lâminas aplicadas nos tratamentos 50 e 100, bem como a

determinação dos coeficientes de cultivo para a espécie e a avaliação da polpa dos frutos em função de distintas lâminas de irrigação.

## 6 CONCLUSÃO

A irrigação promove aumento de produtividade e de eficiência do uso da água em plantas adultas de cupuaçuzeiro nas condições climáticas de Castanhal, PA, Amazônia brasileira. A lâmina de irrigação com base em 100% da ET<sub>0</sub> aumenta em 68% a produtividade de frutos de cupuaçuzeiros de sete a nove anos de idade quando comparados com cultivos sem irrigação. A eficiência do uso da água é maior em plantas irrigadas sob lâmina com 100% de reposição da ET<sub>0</sub>, em média, chega ao valor de 2,615 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, enquanto em condições sem irrigação, esse valor é de 1,105 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. Portanto, indica-se a lâmina de irrigação com reposição de 100% da ET<sub>0</sub> em pomares de cupuaçuzeiro.

## 7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA) pela concessão da bolsa de estudos e demais recursos financeiros (FAPESPA/ICAAF 009/2017). À Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e à Fazenda Escola de Castanhal (FEC) pelo apoio logístico, ao proprietário do plantio comercial pela concessão da área de estudo e ao Grupo de Pesquisa Interação Solo-Planta-Atmosfera na Amazônia (ISPAAm).

## 8 REFERÊNCIAS

- ALI, M. K.; KLEIN, K. K. Water Use Efficiency and Productivity of the Irrigation Districts in Southern Alberta. **Water Resources Management**, Dordrecht, v. 28, n. 10, p. 2751-2766, 2014. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11269-014-0634-y>. Acesso em: 19 set. 2020.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, v. FAO, p. 300, 1998.
- ALMEIDA, M. J. ; SOUSA, C. M. ; ROCHA, M. C. ; BENITES, V. M. ; POLIDORO, J. C. Reposição deficitária de água e adubação com organomineral no crescimento e produção de tomateiro industrial. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 69-85, 2019.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014. Disponível em: [http://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen\\_s\\_climate\\_classification\\_map\\_for\\_Brazil?af=crossref](http://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref). Acesso em: 20 ago. 2020.
- ALVES, R. M.; CHAVES, S. F. DA S.; OLIVEIRA, R. P. DE; PEDROZA NETO, J. L.; SEBBENN, A. Canopy replacement used in the evaluation of cupuassu tree genotypes in the state of Pará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 42, n. 4, p. 110-111, 2020. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-29452020000401003&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452020000401003&tlng=en). Acesso em: 22 mar. 2021.
- ALVES, R. M. ; BASTOS, A. J. R. ; CHAVES, S. F. D. S.; FERNANDES, J. R. Q. Spondias mombin and Theobroma grandiflorum in agroforestry system: productivity implications. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 40, n. 6, p. 1-8, 2018.
- ALVES, R. M.; FILGUEIRAS, G. C.; HOMMA, A. K. O. Aspectos socioeconômicos do cupuaçuzeiro na Amazônia: do extrativismo a domesticação. *In*: SANTANA, A. C et al.. **Mercado, cadeias produtivas e desenvolvimento rural na Amazônia**. 1. ed. Belém, PA: UFRA, 2014. p. 197-223.
- BELAY, S. A.; SCHMITTER, P.; WORQLUL, A. W.; STEENHUIS, T. S.; REYES, M. R.; TILAHUN, S. A. Conservation Agriculture Saves Irrigation Water in the Dry Monsoon Phase in the Ethiopian Highlands. **Water**, Basel, v. 11, n. 10, p. 1-16, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/10/2103>. Acesso em: 24 mar. 2022.
- NUNES CLÍMACO, G.; KELLY GONÇALVES ABREU, V.; DE OLIVEIRA LEMOS, T.; LÚCIA FERNANDES PEREIRA, A. Mixed Nectar of Cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) and Green Tea and the Effect of Preservatives and Storage on Nutritional and Sensorial Characteristics. **Journal of Food and Nutrition Research**, Cagayan de Oro City, v. 7, n. 5, p. 361-369, 2019. Disponível em: <http://pubs.sciepub.com/jfnr/7/5/5/index.html>. Acesso em: 24 mar. 2022.
- CUNHA, R. L. M. DA; GALVÃO, J. R.; ALVES, R. M.; GOMES, V. A.; OLIVEIRA, F. C.; FERREIRA, I. V. L. Ecofisiologia de progênie de cupuaçuzeiro submetida a déficit hídrico e reidratação.

**Revista Brasileira de Agricultura**

**Irigada**, Fortaleza, v. 12, n. 2, p. 2500-2509, 2018. Disponível em: [http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/766/pdf\\_460](http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/766/pdf_460). Acesso em: 22 mar. 2021.

DAVIDSON, E.; DE ARAÚJO, A.; ARTAXO, P.; BALCH, J. K.; BROWN, I. F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; DEFRIES, R. S.; KELLER, M.; LONGO, M.; MUNGER, J. W.; WOFYSY, S. C.; SCHROEDER, W.; SOARES-FILHO, B. S.; SOUZA, C. M. The Amazon basin in transition. **Nature**, São Paulo, v. 481, n. 7381, p. 321-328, 2012. Disponível em: <http://www.nature.com/articles/nature10717>. Acesso em: 22 mar. 2021.

DIAS, J. D. M.; ABREU, V. K. G.; PEREIRA, A. L. F.; LEMOS, T. D. O.; SANTOS, L. H. DOS; SILVA, V. K. L. DA; MOTA, A. S. D. B. Desenvolvimento e avaliação das características físico-químicas e da aceitação sensorial de doce em massa de cupuaçu. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 36, n. 1, p.1-10, 2019. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/alimentos/article/view/45137>. Acesso em: 24 mar. 2021.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Revista e Ampliada, 2018.

GUIMARÃES, P. V. P.; DURIGAN, M. F. B. Crescimento e desenvolvimento de frutos de cupuaçuzeiros em sistema agroflorestal no estado de Roraima, Brasil. **Revista Ambiente: Gestão e Desenvolvimento**, Roraima, v. 11, n. 1, p. 278-294, 2018.

HAMMER, H.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**,

Lusby, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Netherlands, v. 92, n. 2-3, p. 185-202, 2005. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378429005000304>. Acesso em: 02 de ago de 2020.

LOZANO, J. G.; FONSECA, L. P. M. Respuestas fisiológicas de Theobroma cacao L. en etapa de vivero a la disponibilidad de agua en el suelo. **Acta Agronómica**, Palmira, v. 65, n. 1, p. 44-50, 2016. Disponível em: [http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/48161](http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/48161). Acesso em: 21 mar. 2021.

OLIVEIRA, E. C. A. DE; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C. DE; SIMÕES NETO, D. E. C.; CARVALHO, L. A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 6, p. 617-625, 2011.

PALHETA, J. G.; SOUZA, L. C. DE; CUNHA, R. L.; ALVES, R. M.; BARBOSA, A. V. C.; SOUSA, D. J. P. DE; TEIXEIRA, J. S. S.; CONCEIÇÃO, S. S.; OKUMURA, R. S.; NETO, C. F. DE O. Physiological Study of Cupuaçu [Theobroma grandiflorum (Willd. ex Spreng.) Schum.] Tree Progenies Subjected to Water Deficiency. **Journal of Experimental Agriculture International**, Hooghly, v. 28, n. 3, p. 1-10, 2018. Disponível em: <https://journaljeai.com/index.php/JEAI/article/view/1127>. Acesso em: 15 mar. 2021.

PEREIRA, A. L. F.; ABREU, V. K. G.; RODRIGUES, S. Cupuassu - Theobroma

- grandiflorum. *In*: SILVA, E. O.; BRITO, E. S.; RODRIGUES, S (org.). **Exotic Fruits**. 1 ed. Massachusetts: Academic Press, 2018. p. 159- 162.
- PINHO, R. C.; MILLER, R. P.; ALFAIA, S. S. Agroforestry and the Improvement of Soil Fertility: A View from Amazonia. **Applied and Environmental Soil Science**, Londres, v. 2012, p. 1-11, 2012. Disponível em: <http://www.hindawi.com/journals/aess/2012/616383/>. Acesso em: 13 mar. 2021.
- PUGLIESE, A. G.; TOMAS-BARBERAN, F. A.; TRUCHADO, P.; GENOVESE, M. I. Flavonoids, Proanthocyanidins, Vitamin C, and Antioxidant Activity of *Theobroma grandiflorum* (Cupuassu) Pulp and Seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Nova York, v. 61, n. 11, p. 2720-2728, 2013. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf304349u>. Acesso em: 22 mar. 2021.
- RADIN, B.; SCHÖNHOFEN, A.; TAZZO, I. F. Impacto da quantidade e frequência de chuva no rendimento da soja. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 25, n. 1, p. 19-26, 2018.
- SANTOS, I. C. DOS; ALMEIDA, A.-A. F. DE; PIROVANI, C. P.; COSTA, M. G. C.; CONCEIÇÃO, A. S. DA; SOARES FILHO, W. DOS S.; COELHO FILHO, M. A.; GESTEIRA, A. S. Physiological, biochemical and molecular responses to drought conditions in field-grown grafted and ungrafted citrus plants. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 162, p. 406-420, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098847218319488>. Acesso em: 29 set 2020.
- SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO AGROPECUÁRIA E DA PESCA - SEDAP. **Cupuaçu**. Disponível em: <<http://www.sedap.pa.gov.br/content/cupuaçu>>. Acesso em: 15 dez. 2020.
- SOUZA, A. ; SOUZA, M. G. ; PAMPLONA, A. ;; WOLFF, A. D. S. **Boas práticas na colheita e pós-colheita do cupuaçu**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2011. (Circular Técnica, n. 36).
- SOUZA, A. G. C.; BERNI, R. F.; SOUZA, M. G.; SOUSA, N. R. ; SILVA, S. E. L. ; TAVARES, A. M. ; ANDRADE, J. S. ; BRITO, M. A. M. ; SOARES, M. S. C. **Boas práticas agrícolas da cultura do cupuaçuzeiro**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2007. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/679234>. Acesso em: 15 dez. de 2020.
- SOUZA, P. J. O. P.; RAMOS, T. F.; FIEL, L. DE C. S.; FARIAS, V. D. DA S.; SOUSA, D. DE P.; NUNES, H. G. G. C. Yield and water use efficiency of cowpea under water deficit. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 2, p. 119-125, 2019. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662019000200119&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662019000200119&tlng=en). Acesso em: 20 mar. 2021.
- TEIXEIRA, E. O.; VELAME, M. L. A.; MONTEIRO, A. C. ; LISBOA, S. P. P.; SANTOS, B. N.; TAVARES, L. B.; CUNHA JUNIOR, J. B.; PINTO, J. V. N.; SILVA, J.V.F.; MARTINS, C. G. D.; COSTA, D. L. P.; SOUZA, P. J. O. P. Rendimento de polpa de cupuaçu em diferentes disponibilidades hídricas nas condições climáticas de castanhal-pa. *In*: Barbosa Juniro, C. A (Org). **As Vicissitudes da Pesquisa e da Teoria nas Ciências Agrárias 2**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2020. p. 24-33.

TESTEZLAF, R. **Irrigação**: métodos, sistemas e aplicações. Campinas: FEAGRI, 2017.

YADAV, A.; JAYASWAL, P. K.; VENKAT RAMAN, K.; SINGH, B.; SINGH, N. K.; USHA, K. Transcriptome analysis of flowering genes in mango

(*Mangifera indica* L.) in relation to floral malformation. **Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology**, New Delhi, v. 29, n. 2, p. 193-212, 2020.

Disponível em:

<https://doi.org/10.1007/s13562-019-00541-z>. Acesso em: 13 dez. 2020.