

LAIS DE PAULA RIBEIRO

**IMPACTO DA LIMITAÇÃO HÍDRICA DURANTE A FASE VEGETATIVA EM  
PLANTAS DE CUBIU (*Solanum sessiliflorum* Dunal)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal do Amazonas, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

HUMAITÁ - AMAZONAS

2023

LAIS DE PAULA RIBEIRO

**IMPACTO DA LIMITAÇÃO HÍDRICA DURANTE A FASE VEGETATIVA EM  
PLANTAS DE CUBIU (*Solanum sessiliflorum* Dunal)**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal do  
Amazonas, Instituto de Educação,  
Agricultura e Ambiente, como parte das  
exigências para a obtenção do título de  
Bacharel em Agronomia

**Orientador:** Prof. Dr. João Henrique Frota Cavalcanti  
**Coorientador:** Prof. Dr. Dalton Dias da Silva Júnior

HUMAITÁ - AMAZONAS

2023

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

R484i Ribeiro , Laís de Paula  
Impacto da limitação hídrica durante a fase vegetativa em plantas de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) / Laís de Paula Ribeiro . 2023  
26 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: João Henrique Frota Cavalcanti  
Coorientador: Dalton Dias da Silva Júnior  
TCC de Graduação (Agronomia) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Estresse por seca. 2. Parâmetros biométricos. 3. Clorofila a. 4. Adaptação. I. Cavalcanti, João Henrique Frota. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

**Dedico**  
*Aos meus pais, Sebastião e Maria Graciete.*  
*Meus irmãos Neto, Lidiane e Joeferson.*  
*Amo você!*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por sempre abençoar e guiar os meus passos.

Aos meus queridos pais, Maria Graciete Nascimento de Paula e Sebastião Ribeiro Júnior, por serem meu alicerce seguro.

A meus irmãos Sebastião Ribeiro Neto, Lidiane de Paula Ribeiro e Joeferson de Paula Ribeiro, por todo apoio durante esses anos que estive longe.

Ao meu companheiro Gabriel Henrique de Andrade Guerreiro, pela calma e compreensão durante todos esses anos de faculdade. Obrigada por tudo e muito mais!

Ao meu orientador João Henrique Frota Cavalcanti, pela paciência e ensinamentos nesses anos de pesquisa.

À professora Priscila Oliveira Silva, por nos supervisionar nas atividades de laboratório, pelos ensinamentos, dicas nas apresentações, e por nos tranquilizar nos momentos de nervosismo.

À toda equipe do Grupo de Pesquisa de Bioquímica e Fisiologia de Plantas Tropicais, Priscila Rodrigues, Oziel Cordeiro, Lucas Realto, Ely Jhones e Camila Andréia.

A todos meus amigos pela parceria, companhia, risadas, brigas, e por sempre torcerem por mim! Desejo sucesso a todos!

A todos os professores que passaram durante esses cinco anos de graduação, em especial a Prof. Perla Joana Souza Gondim e Prof. Dalton Dias da Silva Júnior, além de muito competentes, são uns grandes queridos e amigos! Obrigada!

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), em especial ao Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA/UFAM).

Enfim, a todos que de maneira direta ou indiretamente participaram e contribuíram para a conclusão dessa etapa na minha vida. Nada seria possível sem vocês, muito obrigada!

## EPÍGRAFE

*Sou como haste fina  
Que qualquer brisa verga  
Mas nenhuma espada corta.*

Maria Bethânia

## RESUMO

Ribeiro, Laís de Paula. **Impacto da limitação hídrica durante a fase vegetativa em plantas de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal)**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Humaitá – AM, 2023. Orientador: Prof. Dr. João Henrique Frota Cavalcanti

O cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) é uma espécie nativa da região amazônica, que apresenta poucos estudos a respeito de fisiologia do estresse. Tendo em vista que plantas silvestres ou ‘landraces’ podem ser úteis para aplicação de melhoramento de espécies agrônomicas comerciais como: tomate ou berinjela, este estudo visou identificar as respostas fisiológicas da planta em condições de limitação de água. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente. Para dados biométricos, utilizou-se plantas de *S. sessiliflorum* submetidas com 50 dias de idade, divididas em plantas controle (próxima a capacidade de campo), estresse moderado (plantas submetidas à restrição hídrica por 7 dias) e estresse severo (plantas submetidas à restrição hídrica por 10 dias). Altura e diâmetro do caule foram mensurados a cada 2 dias, a massa seca foi determinada ao final, com os órgãos (raízes, caule e folhas) levados a uma estufa de circulação forçada e mantidas a 70 °C, por 72 h, determinando-se a alocação de matéria seca para os diversos constituintes da planta, além da razão raiz/parte aérea. De maneira geral, a alocação de matéria nas plantas não mudou em relação à razão parte aérea/raiz. Avaliando os componentes separadamente somente matéria seca de folhas foi drasticamente reduzida nos tratamentos de estresse se comparado com o controle. Tamanho da raiz, diâmetro do caule e altura da planta não tiveram diferenças significativas. Para obtenção dos parâmetros fotoquímicos, utilizou-se plantas crescidas em casa de vegetação submetidas há 7 dias de déficit hídrico, divididas em dois tratamentos: controle (plantas próximo a capacidade de campo) e estresse (plantas submetidas à restrição hídrica), com oito repetições cada. A pinça para coleta do Fo, foi posta na quinta folha, pré-adaptada ao escuro por 30 min, longe das nervuras principais. Os parâmetros de fluorescência da clorofila a (Fv/Fm, Fm, Fo e NPQ e qP) foram obtidos no dia 1, dia 3, dia 5 e dia 7, através do equipamento PAM-2500 (WALZ, Alemanha). Os valores de Fv/Fm ficaram estáveis nos cinco primeiros dias de estresse, no sétimo dia de estresse se diferenciou estatisticamente, valores de qP diminuíram e possuíram diferença estatística no terceiro e sétimo dia e os valores de NPQ em função de qP com a tendência em aumentar, possuíram diferença significativa no terceiro dia de estresse, o que comprova que o estresse por déficit hídrico estava afetado a integridade das plantas de cubiu. Os resultados mostram que o estresse por déficit causa grandes perturbações no sistema bioquímico e fisiológico das plantas.

**Palavras-chave:** Estresse por seca; parâmetros biométricos; clorofila a; adaptação.

## ABSTRACT

RIBEIRO, Laís de Paula. **Impact of water limitation during the vegetative phase on cubiu plants (*Solanum sessiliflorum* Dunal)**. 2023. Completion of course work – Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Humaitá – AM, 2023. Advisor: Prof. Dr. João Henrique Frota Cavalcanti

Coccona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) is a native species from Amazon region which it states only a few studies concerning stress physiology. Bearing this on mind, wild species and/or landraces are usefful form crop breeding as tomato and eggplant. This work aimed identify physiological response of plant submitted to water shortage followed by recovery. The work design was carried out in greenhouse located in Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente. For biometric data, it was used *S. sessiliflorum* plants kept to the following treatments: control (irrigated every day), moderate (7 days without irrigation), severe (10 days without irrigation), with 5 replications. Stem height and diameter were measured every 2 days, dry mass was determined at the end, with the organs (roots, stem and leaves) taken to a forced circulation oven and kept at 70 °C for 72 h, determining whether the allocation of dry matter to the various constituents of the plant in addition to the root/shoot ratio. In general, the allocation of matter in plants did not change in relation to the shoot/root ratio. Evaluating the components separately, leaf dry matter was drastically reduced in the stress treatments compared to the control. Root size, stem diameter and plant height did not differ by origin. To obtain the photochemical parameters, plants grown in a greenhouse maintained for 7 days of water deficit were used, in two treatments: Control (well-irrigated plants) and Stress (non-irrigated plants), with eight experiments each. The Fo collection tweezers were placed on the fifth leaf, pre-adapted to the dark for 30 min, away from the main veins. Chlorophyll a fluorescence parameters (Fv/Fm, Fm, Fo and NPQ and qP) were obtained on day 1, day 3, day 5 and day 7, using the PAM-2500 equipment (WALZ, Germany). The values of Fv/Fm remained stable in the first five days of stress, in the seventh day of stress it was statistically different, values of qP decreased and had statistical difference in the third and seventh day and the values of NPQ as a function of qP with the tendency to increase, had a significant difference on the third day of stress, which proved that the stress due to water deficit was affecting the integrity of the cubiu plants. The results show that deficit stress causes major disturbances in the biochemical and physiological systems of plants.

**Keywords:** drought stress, biometric parameters, chlorophyll a and plant adapation.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Fenótipo de plantas de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) de 50 dias de idade antes e após 10 dias de exposição a dois tratamentos de déficit hídrico: plantas submetidas à restrição hídrica por 7 dias (estresse moderado) e plantas submetidas à restrição hídrica por 10 dias (estresse severo). ..... 18
- Figura 2:** Alocação de matéria orgânica de plantas de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) crescidas em três condições de disponibilidade de água: controle (próximo a capacidade de campo), moderado (plantas submetidas à restrição hídrica por 7 dias) e severo (plantas submetidas à restrição hídrica por 10 dias). **A.** Razão parte aérea / raiz. **B.** Massa seca em folhas. **C.** Massa seca em caule. **D.** Massa seca em raiz. Valores são apresentados como média  $\pm$  Erro Padrão (n = 5). (\*) Asterisco significa diferença estatística a teste-t de Student a 5% de significância. .... 19
- Figura 3:** Parâmetros de crescimento de plantas de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) crescidas em três condições de disponibilidade de água: controle (próximo a capacidade de campo), moderado (plantas submetidas à restrição hídrica por 7 dias) e severo (plantas submetidas à restrição hídrica por 10 dias). **A.** Tamanho da raiz. **B.** Altura da planta. **C.** Diâmetro do caule. Valores são apresentados como média  $\pm$  Desvio Padrão (n = 5). (\*) Asterisco significa diferença estatística a teste-t de Student a 5%. .... 20
- Figura 4:** Parâmetros de fluorescência da clorofila a em plantas de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) crescidas durante sete dias em dois tratamentos: Controle (plantas próximas a capacidade de campo) e estresse (controle (próximo a capacidade de campo), moderado (plantas submetidas à restrição hídrica por 7 dias) e severo (plantas submetidas à restrição hídrica). **A.**  $F_v/F_m$  (Eficiência quântica potencial do PSII) **B.**  $q_P$  (Dissipação fotoquímica) **C.** NPQ (Dissipação não fotoquímica alternativa). Valores são apresentados como média  $\pm$  Desvio Padrão (n = 5). (\*) Asterisco significa diferença estatística a teste-t de Student a 5%. .... 22

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral	12
2.2 Objetivos específicos	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 Aspectos gerais do cubiu	13
3.2 Importância agronômica da espécie	14
3.3 Resposta do estresse hídrico na fase vegetativa em plantas	15
4. MATERIAL E MÉTODOS	16
4.1 Material vegetal e condução do experimento	16
4.2 Avaliação dos parâmetros biométricos da parte vegetativa de cubiu	16
4.3 Parâmetros de fluorescência	17
4.4 Análise estatística	17
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5.1 Efeito do estresse por déficit hídrico nos parâmetros biométricos	17
5.2 Efeito do estresse por déficit na fluorescência da clorofila a	20
6. CONCLUSÕES	23
7. REFERÊNCIAS	24

## 1. INTRODUÇÃO

As plantas são organismos sésseis que não podem se locomover para outras áreas quando sofrem ação adversas do ambiente, animais e microrganismos. Estas condições são referidas como estresses, sendo estes agrupados em abióticos (e.g. hídrico, salino, alta temperatura, radiação UV, dentre outros) ou bióticos (e.g. patógenos e herbívoros – são organismos vivos que interferem no crescimento e desenvolvimento das plantas). Geralmente esses estresses afetam negativamente o crescimento e desenvolvimento da planta, mais especificamente alteram o processo fotossintético, levando a diminuição das taxas de assimilação de CO<sub>2</sub>, e, conseqüentemente a diminuição na biossíntese de carboidratos (SMITH; STITT, 2007).

O estresse hídrico é o principal fator ambiental que limita o crescimento de plantas e tendo em vista o ponto agrônomo, diminui a produtividade de espécies de interesse. ((BRAY, 1997; BASU et al., 2016). Esse estresse se caracteriza pela limitação da disponibilidade e/ou capacidade de absorção de água pela planta (SALEHI-LISAR; BAKHSHAYESHAN-AGDAM, 2016).

Muitos estudos se concentram em analisar os efeitos do estresse hídrico no metabolismo de espécies como soja, milho, trigo etc. (VURUKONDA et al., 2016). Por exemplo, quando plantas de cevada foram crescidas em condição de estresse hídrico moderado e severo, com 60% e 20% da capacidade de campo, respectivamente, observou-se que as plantas estressadas apresentavam um ciclo de vida e duração do enchimento de grãos mais curto, se comparada as plantas controle bem irrigadas, foi constatado que o estresse hídrico moderado e severo, reduziu o número de grão por planta de cevada (SAMARAH, 2005).

Entender os mecanismos fisiológicos de adaptação e/ou resposta ao estresse hídrico são fundamentais (HSIAO, 2003). Entre esses mecanismos encontrados na planta podemos facilmente citar fechamento dos estômatos, redução do crescimento da parte aérea, crescimento do sistema radicular, ajustamento osmótico (LIU et al., 2005; MANAVALAN et al., 2009). É importante mencionar também, que as formas e intensidade das respostas ao estresse hídrico são, de certa maneira, únicas entre as espécies vegetais.

Muitas espécies de valor agrônomo nativas da região Amazônica são negligenciadas em estudos de fisiologia vegetal, principalmente, como estas respondem e/ou se adaptam ao estresse hídrico. Neste grupo, podemos citar o cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal). Conhecido também como maná ou tomate de índio, o cubiu tem se mostrado uma

espécie com alto potencial econômico uma vez que pode ser utilizado na alimentação, medicina, cosméticos, dentre outros (C. ANDRADE JR. et al., 2017; SILVA FILHO, 2002; SILVA FILHO et al., 1999; YUYAMA et al., 2005).

O cubiu, do ponto de vista biológico, como uma espécie exótica para estudos de fisiologia do estresse, pois mesmo pertencendo à família Solanaceae, ou seja, espécie com proximidade taxonômica ao *Solanum lycopersicum* (tomate), *Solanum tuberosum* (batata), *Solanum melongena* (berinjela). Seu processo de domesticação foi realizado pelos indígenas antes mesmo da chegada dos europeus na América do Sul (SCHULTES, 1984; SILVA FILHO et al., 2005).

Esse processo permitiu a produção de uma enorme diversidade genética correspondendo a um banco de germoplasma de aproximadamente 30 etnovariedades (SILVA FILHO et al., 2005). E mais, as etnovariedades mostram um enorme polimorfismo tanto da parte vegetativa da planta (morfologia foliar e caulinar) quanto da parte reprodutiva (formato e tamanho dos frutos) (SILVA FILHO, 2002; SILVA FILHO et al., 2005; YUYAMA et al., 2005).

Nesse contexto, uma vez que as características fenotípicas são importantes na forma de responder a estresses hídricos o uso de etnovariedades de cubiu pode trazer grandes avanços no entendimento dos mecanismos de adaptação e/ou resposta a estresse de uma maneira global. Como mencionado acima, há uma ausência de estudos investigando *Solanum sessiliflorum* sob estresse hídrico. Tal fato torna um campo fértil para estudos ecofisiológicos dessa espécie e nos fornece uma possibilidade de geração de conhecimento científico pelo fato de ser uma espécie nativa da Amazônia pouco explorada.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar o impacto do déficit hídrico nos parâmetros biométricos e fisiológicos durante a fase vegetativa em plantas de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal).

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Avaliar o crescimento em altura da parte aérea, diâmetro do caule e tamanho da raiz;
- b) Avaliar a partição de matéria entre parte aérea e raiz;
- c) Avaliar os parâmetros da fluorescência da clorofila a (e.g. Fv/Fm, NPQ e qP);

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Aspectos gerais do cubiu

Pertencente à família Solanaceae, *Solanum sessiliflorum* é originária da região do alto Orinoco da bacia Amazônica (SILVA FILHO et al., 1998). *Solanum sessiliflorum* Dunal é uma espécie anual, que foi domesticada pelos nativos da região antes mesmo da chegada dos europeus na América do Sul (SCHULTES, 1984) Essa espécie é conhecida popularmente, como cubiu, topiro (Peru e Venezuela), cocona (Colômbia e Venezuela) ou mesmo tomate de índio e maná-cubiu em diferentes estados brasileiros (FILHO et al., 2003; OLIVEIRA, 1999; PAHLEN, 1977).

A maior ocorrência da espécie ocorre no estado do Amazonas, onde, na região do Alto Solimões ocorre com maior variabilidade genética (SILVA FILHO; ANUNCIAÇÃO FILHO; NODA, 1994). Das condições ambientais para crescimento, é uma planta que se desenvolve bem em regiões de clima quente e úmido, com temperaturas médias entre 18 e 30 °C e umidade relativa de 85%. Apesar de ser uma espécie heliófila, pode crescer à sombra, contudo, nessa condição, a produção de frutos é reduzida. Está adaptado a solos ácidos de baixa fertilidade, solos neutros e alcalinos de boa fertilidade, com textura desde argilosa até arenosa. Pode ser cultivado desde o nível do mar até 1500 metros de altitude (PAHLEN, 1977; SILVA FILHO et al., 1998).

A planta é um arbusto ereto e ramificado de 1 a 2 metros de altura, com ciclo anual, embora possa viver até três anos em condições favoráveis. As raízes laterais podem estender-se por até 1,4 m de sua base (PAHLEN, 1977). A morfologia foliar se caracteriza como simples, alternas, com arranjo em espiral (em grupos de três), longo-pecioladas, membranáceas, ovaladas, com margem lobada-dentada, ápice agudo e base assimétrica mostrando uma enorme plasticidade morfológica, portanto. As folhas maiores têm pecíolos de até 14 cm de comprimento e bainha foliar de até 58 cm de comprimento (PAHLEN, 1977; SILVA FILHO et al., 1998).

A inflorescência é uma cima formada por um ramo de pouco mais de 1 centímetro de comprimento no qual se situam, em forma espiralada, os pedúnculos florais de 2 a 5 milímetros de comprimento. Elas são formadas por cinco a oito flores, nas quais se desenvolvem de um a três frutos situados nos ramos entre cada grupo de três folhas (PAHLEN, 1977). As flores são estaminadas ou hermafroditas, não possuem diferenças morfológicas externas importantes. As flores hermafroditas possuem um estigma úmido e estilete glabro, medindo de 7 a 10 milímetros; e o ovário é piloso e com formato globoso.

As flores estaminadas possuem estilete reduzido e ovário rudimentar (SILVA FILHO et al., 1998). Por sua vez, os frutos são classificados como baga ou solanio (BARROSO, 1999). O formato do fruto varia de acordo com o genótipo, sendo redondo, achatado, quinado, cilíndrico ou cordiforme. A cor varia entre verde quando imaturo, amarelo quando maduro e marrom-avermelhado no estágio mais avançado de maturidade. Os frutos cilíndricos têm 4 lóculos e os cordiformes, redondos e achatados de 6 a 8 lóculos, podendo haver variações no número de lóculos nos frutos de uma mesma planta. O fruto é coberto por pelos curtos e quebradiços que são facilmente removidos esfregando-os com as mãos, a casca é grossa, resistente e amarga, a sua polpa amarelo-claro ao creme-amarelada mede de 0,2 a 2,5 cm de espessura, dependendo do genótipo (PAHLEN, 1977; SILVA FILHO et al., 1998; SILVA FILHO; NODA; MACHADO, 2013). O fruto é classificado como não climatérico (STEFANELLO et al., 2010).

### **3.2 Importância agronômica da espécie**

No estado do Amazonas é amplamente conhecido e cultivado em pequena escala pelos agricultores tradicionais (SCHULTES, 1984). Seus frutos possuem polpa de sabor e aroma agradáveis (SILVA FILHO et al., 1998), e são utilizados in natura ou processados industrialmente para fins alimentícios, farmacêuticos e cosméticos (EGGEA et al., 2020).

O cubiu é uma hortaliça tipo fruto não convencional o qual pode ser consumido in natura ou processado na forma de geleias, doces, sucos, compotas, bolos e tempero para carnes e peixes, em conserva ou desidratadas e cristalizadas (JÚNIOR et al., 2016).

Essa planta é amplamente utilizada com diversos propósitos, pelas populações tradicionais da Amazônia, por exemplo, as folhas e raízes são empregadas como medicamentos, os frutos como alimento, e o suco do fruto como cosmético. O cubiu é utilizado como medicamento popular no tratamento de diabetes, hipercolesterolemia, hipertensão, doenças de pele, ácido úrico e alguns tipos de câncer (PEREIRA et al., 2001)

Nutricionalmente possui propriedades importantíssimas, como os compostos antioxidantes que estão naturalmente presentes nas frutas (CANUTO et al., 2010). Apresenta uma concentração de vitamina B3 três vezes maior que a berinjela, reconhecida como um dos vegetais mais ricos nesta substância. A niacina contribui para um sistema digestivo saudável, melhora a circulação e reduz a pressão alta do sangue, o colesterol e os triglicérides (OLIVEIRA; MACHINI, 1998). É rico também em fibras, fósforo, vitamina C e pectina. (YUYAMA et al., 2007).

A cultura apresenta características agronômicas e econômicas interessantes para o modelo de agricultura familiar dos produtores rurais da Amazônia, apresenta potencialidades para a agricultura moderna dadas a sua rusticidade, a boa capacidade de produção e as possibilidades múltiplas de aproveitamento dos frutos. Além disso, suas propriedades nutricionais constituem grande atrativo para o mercado, principalmente considerando-se a crescente preocupação da população com alimentação saudável (PEREIRA et al., 2001; SILVA FILHO et al., 1998).

### **3.3 Resposta do estresse hídrico na fase vegetativa em plantas**

O estresse hídrico por déficit hídrico consiste na falta de água no solo para a demanda energética, o que leva a absorção de água e alguns nutrientes pelo sistema radicular da planta a ser reduzido, causando prejuízos. O déficit hídrico afeta praticamente todos os aspectos de crescimento, incluindo modificações anatômicas, morfológicas, fisiológicas e bioquímicas (BEZERRA; OLIVEIRA, 1998).

O déficit hídrico tem efeito em diversos processos fisiológicos das plantas, visto que o estresse geralmente aumenta a resistência difusiva ao vapor de água mediante o fechamento dos estômatos, reduzindo a transpiração e, conseqüentemente, o suprimento de CO<sub>2</sub> para a fotossíntese (MARENCO; LOPES, 2009). Muitos desses efeitos refletem nos mecanismos de adaptação das plantas ao ambiente. Quando a ocorrência do déficit hídrico é rápida, os mecanismos morfofisiológicos são severamente afetados e a planta necessita adaptar-se de forma rápida à nova situação (NOGUEIRA; SANTOS, 2000).

A inibição da expansão foliar é uma resposta precoce adaptativa ao déficit hídrico. Com a diminuição do conteúdo de água da planta, as células tipicamente contraem-se e as paredes afrouxam. Esse decréscimo de volume celular resulta em menor pressão de turgor e na subsequente concentração de solutos nas células. A expansão foliar é um processo movido pelo turgor e é extremamente sensível ao déficit hídrico (MARENCO; LOPES, 2009).

Com menos área foliar, a planta transpira menos, conservando, efetivamente, um suprimento de água limitado no solo por um período mais longo. Assim, a redução da área foliar pode ser considerada a primeira linha de defesa contra a seca. Em determinadas plantas, o estresse hídrico limita não apenas o tamanho, mas também o número de folhas

A abscisão foliar é um mecanismo de resposta ao estresse por seca. Após as plantas sofrerem um estresse hídrico no desenvolvimento substancial da área foliar, as folhas sofrerão senescência e subseqüentemente cairão (MARENCO; LOPES, 2009).

As raízes desenvolvem-se em direção a zonas do solo que permanecem úmidas. Na presença de déficits hídricos, as camadas superiores do solo são, em geral, as primeiras a secarem. Assim, as plantas exibem um sistema de raízes predominantemente superficial, quando todas as camadas dos solos estão umedecidas, e perda de raízes superficiais e proliferação de raízes profundas quando a água é esgotada nas camadas superiores do solo. O crescimento de raízes mais profundas em direção ao solo úmido pode ser considerado uma segunda linha de defesa contra a seca (LARCHER, 2000).

#### **4. MATERIAL E MÉTODOS**

##### **4.1 Material vegetal e condução do experimento**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), no município de Humaitá, localizado na região sul do estado, nas coordenadas geográficas 07° 30' S e 63° 01' W.

Sementes de cubiu, cedidas pelo Dr. Danilo Fernandes da Silva Filho do Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas – INPA), foram esterilizadas com hipoclorito de sódio sob agitação por cerca de 20 minutos, em seguida lavadas com água destilada e postas sobre bandejas com papel filtro para retirar o excesso de água, para então serem germinadas em sementeiras de poliestireno contendo substrato comercial (Tropstrato Floreiras e Vasos). As plântulas após a fase de germinação e repicagem foram transferidas para vasos de cinco litros, contendo substrato comercial suplementado com NPK (10:10:10) e crescidas em casa de vegetação.

##### **4.2 Avaliação dos parâmetros biométricos da parte vegetativa de cubiu**

Os parâmetros fisiológicos foram determinados e avaliados como descritos por MARTINS (2013). Os parâmetros biométricos como altura (tomada do nível do solo até o nó apical superior) e diâmetro do caule (tomado a um centímetro do solo) foram mensurados a cada dois dias. A massa seca foi determinada ao final dos dez dias. Para a determinação da massa seca de cada órgão: raízes, caule e folhas foram levados a uma estufa de circulação forçada e mantidas a 70 °C, por 72 h. De posse da massa seca desses órgãos foi determinada a alocação de matéria seca para os diversos constituintes da planta, além da razão raiz/parte aérea.



### **4.3 Parâmetros de fluorescência**

A eficiência da fluorescência da clorofila a foi determinada utilizando o sistema PAM-2500 (Portable Chlorophyll Fluorometer; WALZ) como descrito por GENTY et al. (1989). Sementes de cubiu (*Solanum sessiliflorum*) foram cultivadas e crescidas como mencionado e 4.1, foram divididas em dois tratamentos: 1) Controle (plantas próximas a capacidade de campo) e 2) Estresse (plantas submetidas à restrição hídrica), cada tratamento com oito repetições, as plantas do tratamento estresse não foram irrigadas durante sete dias, enquanto as controle foram irrigadas pela manhã. Os parâmetros de fluorescência mínima da folha adaptada ao escuro ( $F_o$ ), fluorescência máxima da folha adaptada ao escuro ( $F_m$ ), fluorescência máxima variável ( $F_v$ ), máxima eficiência quântica do FSII ( $F_v/F_m$ ), e quenching fotoquímico (qP) e não fotoquímico (NPQ) foram obtidos no dia 1, dia 3, dia 5 e dia 7 (quatro dias de coleta de dados). A pinça para coleta dos parâmetros da razão  $F_v/F_m$  foi posta na quinta folha adaptada ao escuro por trinta minutos, longe das nervuras principais, e posteriormente expostas a pulso de luz saturante de  $6000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  e comprimento de onda de 650 nm durante um segundo (GONÇALVES; SANTOS JÚNIOR, 2005).

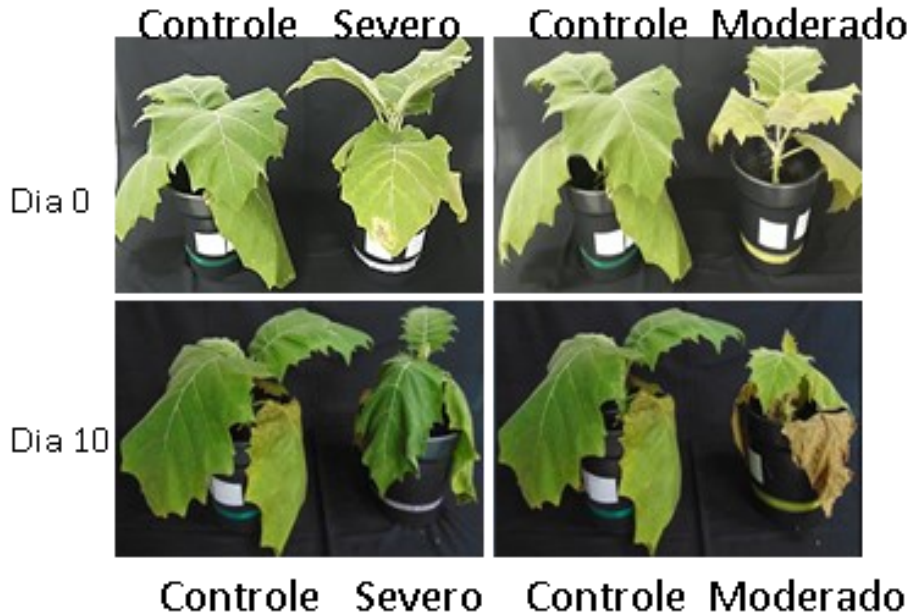
### **4.4 Análise estatística**

O método experimental utilizado foi o delineamento inteiramente casualizado (DIC). Utilizando o teste de hipótese (teste-t de Student) a significância de 5% ( $p < 0,05$ ), para verificar o efeito dos tratamentos nos parâmetros biométricos e fisiológicos de *Solanum sessiliflorum*.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

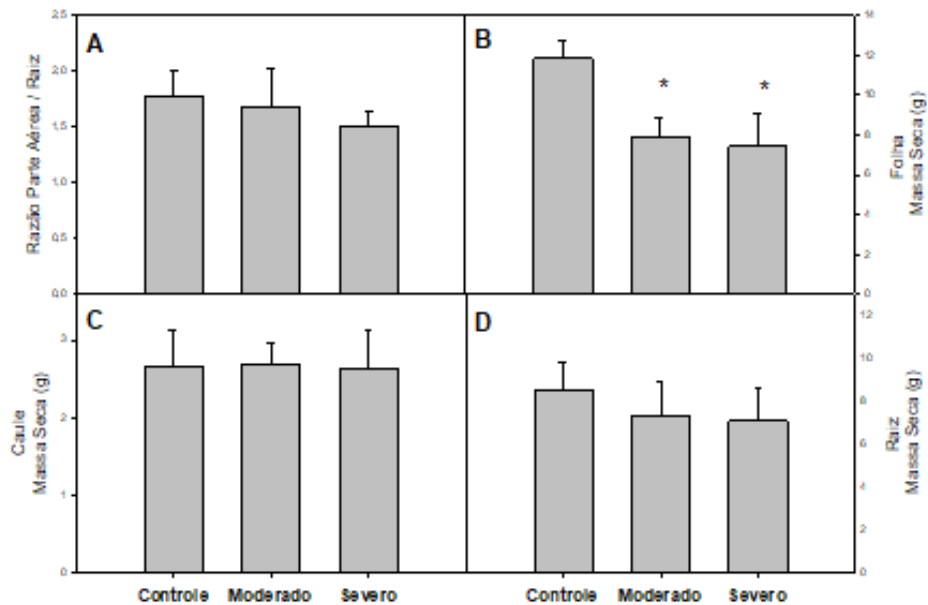
### **5.1 Efeito do estresse por déficit hídrico nos parâmetros biométricos**

Após esses dias de submissão ao estresse por déficit hídrico, as plantas apresentaram fenótipo de murcha e senescência foliar como esperado para esse tipo de estresse (Figura 1). O impacto do estresse por limitação hídrica no fenótipo é bem notório, em que as plantas do tratamento controle encontram-se menos afetadas com suas folhas túrgidas, enquanto as plantas com estresse moderado e severo estão completamente murchas e boa parte das folhas dessecadas.



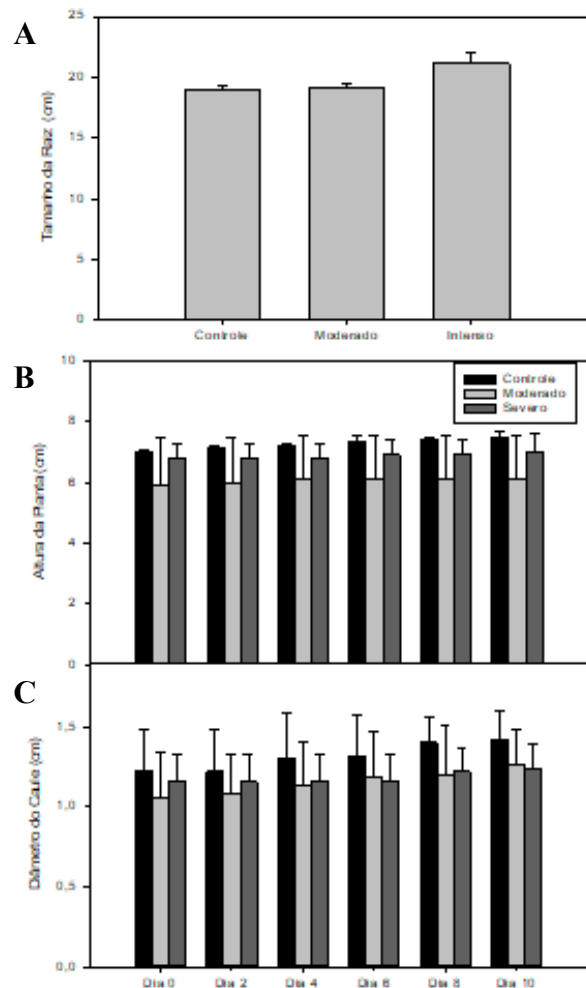
**Figura 1:** Fenótipo de plantas de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) de 50 dias de idade antes e após 10 dias de exposição a dois tratamentos de déficit hídrico: plantas submetidas à restrição hídrica por 7 dias (estresse moderado) e plantas submetidas à restrição hídrica por 10 dias (estresse severo).

Com o intuito de verificar como o estresse, e intensidade, afetou o crescimento e alocação de matéria dos órgãos vegetativos (folha, raiz e caule) ao longo dos 10 dias foi medido a matéria seca dessas partes (Figura 1). De maneira geral, a alocação de matéria nas plantas não mudou em relação à razão parte aérea/raiz (figura 2A). Avaliando-se os componentes separadamente somente matéria seca de folhas foi drasticamente reduzida nos tratamentos de estresse quando comparado com o controle (Figura 2B). Tanto caule quanto raiz não mostraram diferenças significativas na alocação de matéria seca nesses órgãos (figura 2C e 2D).



**Figura 2:** Alocação de matéria orgânica de plantas de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) crescidas em três condições de disponibilidade de água: controle (próximo a capacidade de campo), moderado (plantas submetidas à restrição hídrica por 7 dias) e severo (plantas submetidas à restrição hídrica por 10 dias). **A.** Razão parte aérea / raiz. **B.** Massa seca em folhas. **C.** Massa seca em caule. **D.** Massa seca em raiz. Valores são apresentados como média  $\pm$  Erro Padrão ( $n = 5$ ). (\*) Asterisco significa diferença estatística a teste-t de Student a 5% de significância.

Outros parâmetros de crescimento como tamanho da raiz, diâmetro do caule e altura da planta foram medidos (Figura 3). Contudo, nenhuma dessas variáveis foram modificadas significativamente. Somente o tamanho da raiz ao fim do experimento teve uma tendência de crescimento maior nas condições de estresse (Figura 3A). A literatura reporta que esse maior crescimento, esteja relacionado com a exploração maior das zonas mais profundas do solo, em busca de água nas condições de privação hídrica (BARROS; BARBOSA, 1995; CIRÍACO DA SILVA; NOGUEIRA, 2003).



**Figura 3:** Parâmetros de crescimento de plantas de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) crescidas em três condições de disponibilidade de água: controle (próximo a capacidade de campo), moderado (plantas submetidas à restrição hídrica por 7 dias) e severo (plantas submetidas à restrição hídrica por 10 dias). **A.** Tamanho da raiz. **B.** Altura da planta. **C.** Diâmetro do caule. Valores são apresentados como média  $\pm$  Desvio Padrão (n = 5). (\*) Asterisco significa diferença estatística a teste-t de Student a 5%.

## 5.2 Efeito do estresse por déficit na fluorescência da clorofila a

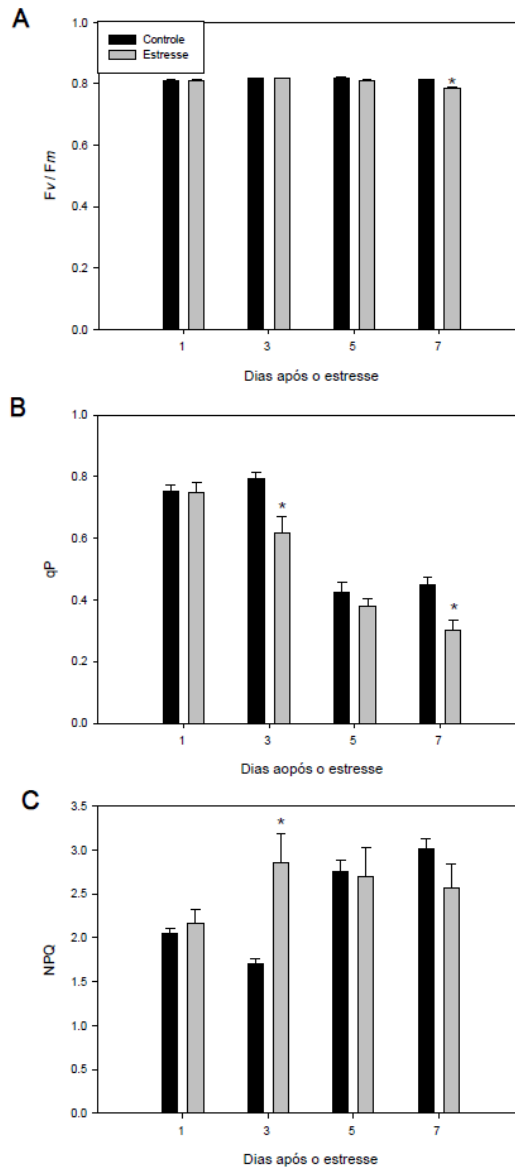
A partir dos parâmetros de fluorescência da clorofila a, podem ser detectados os impactos que o estresse por déficit hídrico causa no aparato fotossintético da planta (MEYER; GENTY, 1999). Esta é uma técnica de estudos de fisiologia não destrutiva ao órgão vegetativo da planta, assim a fluorescência da clorofila avalia de forma rápida e simples a eficiência fotoquímica do fotossistema II, ajudando na investigação de danos culminados em função do déficit hídrico em plantas.

As coletas foram mensuradas nos horários entre 8:00 e 10:00 da manhã, com intervalo de um dia, entre o total de dias de submissão ao estresse, que foram sete dias. Assim, obtivemos os valores médios de  $F_v/F_m$ , NPQ e  $q_p$  de cada tratamento.

Os valores de  $F_v/F_m$  disponibilizam o máximo (ou potencial) rendimento quântico do PSII. A relação  $F_v/F_m$  varia numa faixa de 0,75 a 0,85 em plantas em condições ambientais ótimas. O decréscimo da razão  $F_v/F_m$  é um bom indicador de dano quando as plantas são submetidas a ambientes de estresse (BJÖRKMAN; POWLES, 1984).

Os valores de  $q_P$  (dissipação fotoquímica) fornece informações se a energia luminosa está sendo utilizada para a produção de fotossíntese na planta e NPQ (dissipação não fotoquímica alternativa) que é o parâmetro que utiliza a energia luminosa e se dissipa em forma de calor. Estes parâmetros de fluorescência da clorofila de plantas submetidas ao estresse hídrico, são drasticamente afetadas (Figura 4A, 4B, 4C).

Verificou-se que os valores de  $F_v/F_m$  (Figura 4A) fica estável nos cinco primeiros dias de estresse, e somente a partir do sétimo dia de estresse tem diferença estatisticamente, o que comprova que o estresse por déficit hídrico estava afetado a integridade das plantas de cubiu. Observou-se que valores de  $q_P$  (Figura 4B) diminuem e possuem diferença estatística no terceiro e sétimo dia e os valores de NPQ (Figura 4C) em função de  $q_P$  tem a tendência em aumentar, com uma diferença significativa no terceiro dia de estresse, já se esperava essas respostas de adaptações da planta, uma vez que, esta busca um mecanismo de proteção optando pela diminuição da fotossíntese e aumentando a dissipação da energia luminosa em forma calorífica.



**Figura 4:** Parâmetros de fluorescência da clorofila a em plantas de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) crescidas durante sete dias em dois tratamentos: Controle (plantas próximas a capacidade de campo) e estresse (controle (próximo a capacidade de campo), moderado (plantas submetidas à restrição hídrica por 7 dias) e severo (plantas submetidas à restrição hídrica). A.  $F_v/F_m$  (Eficiência quântica potencial do PSII) B.  $q_p$  (Dissipação fotoquímica) C. NPQ (Dissipação não fotoquímica alternativa). Valores são apresentados como média  $\pm$  Desvio Padrão (n = 5). (\*) Asterisco significa diferença estatística a teste-t de Student a 5%.

## **6. CONCLUSÕES**

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que sob restrição hídrica ocorre redução no conteúdo de massa seca da parte aérea, um fator bem conhecido nas respostas a estresse hídrico, em seguida nos parâmetros de fluorescência da clorofila a, o estresse por déficit hídrico culminou na diminuição da eficiência quântica potencial do PSII, redução da dissipação fotoquímica e conseqüentemente no aumento da dissipação da energia luminosa em forma de calor, comprovando perturbações induzidas pelo estresse hídrico no parâmetros biométricos e no aparato fotossintético das plantas de cubiu.

## 7. REFERÊNCIAS

- BARROS, L. M.; BARBOSA, D. C. DE A. Crescimento de *Acacia farnesiana* (L.) Willd. em casa de vegetação. 1995.
- BARROSO, G. MACIEL. Frutos e sementes: morfologia aplicada à sistemática de dicotiledôneas. p. 443, 1999.
- BASU, S. et al. Plant adaptation to drought stress. **F1000Research** 2016 **5:1554**, v. 5, p. 1554, 30 jun. 2016.
- BEZERRA, F. M. L.; OLIVEIRA, C. H. C. **Evapotranspiração real do caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) no período chuvoso em Fortaleza-CE.** CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. **Anais...**1998.
- BJÖRKMAN, O.; POWLES, S. B. Inhibition of photosynthetic reactions under water stress: interaction with light level. **Planta**, v. 161, n. 6, p. 490–504, 1984.
- BRAY, E. A. Plant responses to water deficit. **Trends in Plant Science**, v. 2, n. 2, p. 48–54, 1 fev. 1997.
- C. ANDRADE JR., M. et al. Nutrients of Cubiu Fruits (*Solanum sessiliflorum* Dunal, Solanaceae) as a Function of Tissues and Ripening Stages. **Journal of Food and Nutrition Research**, v. 5, n. 9, p. 674–683, 26 ago. 2017.
- CANUTO, G. A. B. et al. Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p. 1196–1205, 2010.
- CIRÍACO DA SILVA, E.; NOGUEIRA, R. J. Crescimento de quatro espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico em casa de vegetação. **Revista Ceres**, v. 50, p. 203–217, 1 jan. 2003.
- DUTRA-DE-OLIVEIRA, J. E.; MACHINI, J. S. Ciências nutricionais. 1998.
- EGGEA, V. et al. Development and acceptability of cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) added chocolate cake. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, p. e30921973–e30921973, 1 jan. 2020.
- GONÇALVES, J. F. DE C.; SANTOS JÚNIOR, U. M. DOS. Utilization of the chlorophyll a fluorescence technique as a tool for selecting tolerant species to environments of high irradiance. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 17, n. 3, p. 307–313, set. 2005.
- HSIAO, T. C. Plant Responses to Water Stress. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.24.060173.002511>, v. 24, n. 1, p. 519–570, 28 nov. 2003.



JÚNIOR, M. C. DE A. et al. Biochemical Changes of Cubiu Fruits (*Solanum sessiliflorum* Dunal, Solanaceae) According to Different Tissue Portions and Ripening Stages. **Food and Nutrition Sciences**, v. 7, n. 12, p. 1191–1219, 14 out. 2016.

LARCHER, W.; DE ASSIS PRADO, C. H. B. **Ecofisiologia vegetal**. [s.l.] RiMa Artes e textos São Carlos, 2000.

LIU, F. et al. Stomatal control and water use efficiency of soybean (*Glycine max* L. Merr.) during progressive soil drying. **Environmental and Experimental Botany**, v. 1, n. 54, p. 33–40, ago. 2005.

MANAVALAN, L. P. et al. Physiological and Molecular Approaches to Improve Drought Resistance in Soybean. **Plant and Cell Physiology**, v. 50, n. 7, p. 1260–1276, 1 jul. 2009.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. Fisiologia vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral (Terceira edição). 2009.

MEYER, S.; GENTY, B. Heterogeneous inhibition of photosynthesis over the leaf surface of *Rosa rubiginosa* L. during water stress and abscisic acid treatment: induction of a metabolic component by limitation of CO<sub>2</sub> diffusion. **Planta**, v. 210, n. 1, p. 126–131, 1999.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C. DOS. Alterações fisiológicas no amendoim submetido ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 41–45, abr. 2000.

OLIVEIRA, H. P. Elaboração de néctar de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) e avaliação das características físico-químicas e sensoriais durante o armazenamento. **Manaus: UFAM**, 1999.

PAHLEN, A. VON DER. Cubiu [*Solanum topiro* (Humb. & Bonpl.)], uma fruteira da Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 7, n. 3, p. 301–307, set. 1977.

PEREIRA, Z. R. F. et al. Efeito hipoglicêmico da fibra do cubiu (*Solanum Sessiliflorum* Dunal) em ratos diabéticos. 21 ago. 2001.

SALEHI-LISAR, S. Y.; BAKHSHAYESHAN-AGDAM, H. Drought Stress in Plants: Causes, Consequences, and Tolerance. **Drought Stress Tolerance in Plants, Vol 1: Physiology and Biochemistry**, p. 1–16, 1 jan. 2016.

SAMARAH, N. H. Effects of drought stress on growth and yield of barley. **Agronomie**, v. 25, n. 1, p. 145–149, jan. 2005.

SCHULTES, R. E. **Amazonian cultigens and their northward and westward migration in pre-Colombian times**. [s.l.] Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Harvard University, 1984.

- SILVA FILHO, D. F. DA et al. Cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal): cultivo y utilizacion. 1998.
- SILVA FILHO, D. F. DA et al. Phenotypic, genetic and environmental correlations between Morphological and chemical descriptors in fruits of Cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) in Amazonia. **Acta Amazonica**, v. 29, n. 4, p. 503–511, dez. 1999.
- SILVA FILHO, D. F. DA. Discriminação de Etnovarietades de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal, Solanaceae) da Amazônia, com base em suas Características Morfológicas e Químicas. 1 ago. 2002.
- SILVA FILHO, D. F. DA et al. Caracterização e avaliação do potencial agrônomo e nutricional de etnovarietades de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) da Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 4, p. 399–405, dez. 2005.
- SILVA FILHO, D. F. DA; ANUNCIAÇÃO FILHO, C. J. DA; NODA, H. Variabilidade genética em populações naturais de cubiu (*Solanum topiro*) da Amazônia. 1994.
- SILVA FILHO, D. F. DA; NODA, H.; MACHADO, F. M. Cultivares de Cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) para Olericultura Sustentável da Amazônia. 2013.
- SMITH, A. M.; STITT, M. Coordination of carbon supply and plant growth. **Plant, Cell & Environment**, v. 30, n. 9, p. 1126–1149, 1 set. 2007.
- STEFANELLO, S. et al. Amadurecimento de frutos de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) tratados com Etefon. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 3, p. 424–434, set. 2010.
- VURUKONDA, S. S. K. P. et al. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. **Microbiological Research**, v. 184, p. 13–24, 1 mar. 2016.
- YUYAMA, L. K. O. et al. Study of cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) influence on the seric concentration of glucose. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 64, n. 2, p. 232–236, 10 fev. 2005.
- YUYAMA, L. K. O. et al. Quantificação de macro e micro nutrientes em algumas etnovarietades de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal). **Acta Amazonica**, v. 37, n. 3, p. 425–430, 2007.