

CINDY PATRICIA HERNÁNDEZ GUZMÁN

**RUSTIFICAÇÃO HÍDRICA, NUTRICIONAL E DE RADIAÇÃO EM  
MUDAS DE MACAÚBA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação de Meteorologia Aplicada, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2018

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

H557r  
2018  
Hernández Guzmán, Cindy Patricia, 1988-  
Rustificação hídrica, nutricional e de radiação em mudas de  
macaúba / Cindy Patricia Hernández Guzmán. – Viçosa, MG,  
2018.  
xi, 116 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Hemlley Maria Acioli Imbuzeiro.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Irrigação. 2. Irradiação. 3. Adubos e fertilizantes.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia  
Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia  
Agrícola. II. Título.

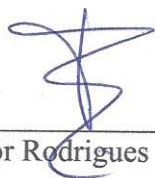
CDD 22. ed. 631.587

CINDY PATRICIA HERNÁNDEZ GUZMÁN

**RUSTIFICAÇÃO HÍDRICA, NUTRICIONAL E DE RADIAÇÃO  
EM MUDAS DE MACAÚBA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Meteorologia Aplicada, para obtenção  
do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 03 de agosto de 2018.



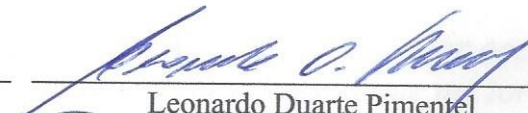
Igor Rodrigues de Assis



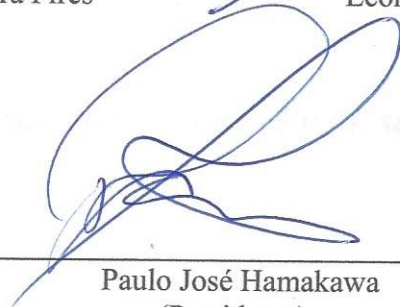
Kaciêda Naomi Kuki



Gabrielle Ferreira Pires



Leonardo Duarte Pimentel  
(Coorientador)



Paulo José Hamakawa  
(Presidente)

**DEDICO A:**

*Deus por conceder-me discernimento, perseverancia e sabiduría para alcançar  
minhas metas.*

*Aos meus avos Antonio Hernández e Luz Maria Contreras por aceitar-me,  
apoiar-me sem condições e por me ajudar a ser a pessoa que me tornei hoje*

***Um bom pai vale mais do que cem Mestres (Jean-Jaques Rousseau).***

***AGRADECIMENTOS,***

*À Universidade Federal de Viçosa, pelo apoio técnico-financeiro.*

*À CAPES, pela atribuição de um bolsa de doutorado.*

*À MICROMET pelo suporte, o companheirismo e apoio.*

*À empresa Acrotech Sementes e Reflorestamento LTDA e Acrotech Viveiros,  
pelo apoio financeiro, a concessão da área experimental e as sementes de  
macaúba.*

## RESUMO

HERNÁNDEZ GUZMÁN, Cindy Patrícia, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2018. **Rustificação hídrica, nutricional e de radiação em mudas de macaúba.** Orientadora: Hemlley Maria Acioli Imbuzeiro. Coorientadores: Leonardo Duarte Pimentel e Paulo José Hamakawa.

A rustificação é um processo fundamental para melhoria das características físicas e fisiológicas das mudas produzidas em viveiro. Este processo quando realizado da maneira correta pode contribuir com a precocidade das mudas no viveiro e a sobrevivência no campo. Para o sistema de produção de mudas de Macaúba, o processo de rustificação vem sendo praticado de forma empírica em cada transição de fase produtiva: de pré-viveiro a viveiro e de viveiro a campo. Durante estas transições, são observados o amarelecimento e mortalidade das mudas, colocando em dúvida a efetividade desse processo. Nesse sentido, objetiva-se com este trabalho desenvolver um protocolo para a rustificação hídrica, nutricional e de radiação de mudas de macaúba. Para isso, foram conduzidos três experimentos em ambientes com características micrometeorológicas distintas: Ambiente controlado e a pleno sol (Pré-viveiro e viveiro, respectivamente): Experimento I – Avaliação do efeito morfológico, fisiológico e nutricional da alteração da frequência de irrigação em mudas de macaúba em pré-viveiro. Experimento II – Avaliação das características físicas e fisiológicas dos efeitos da variação de radiação em fase de produção pré-viveiro. Experimento III – Avaliação do efeito morfológico, fisiológico e nutricional da alteração da aplicação de potássio em mudas de macaúba em pré-viveiro. Os três experimentos foram conduzidos em viveiro comercial da empresa *Acrotech Viveiros* utilizando ambiente controlado (irrigação, radiação e temperatura), localizada no município de João Pinheiro, no estado de Minas Gerais, Brasil. Para avaliar o efeito isolado da radiação, água e nutrientes, os experimentos foram conduzidos utilizando diferente conjunto de mudas de macaúba para cada experimento. Foram realizadas análises destrutivas para avaliar características físicas (número de folhas, diâmetro do estipe, comprimento da parte aérea e raízes e massa da matéria fresca e seca de folhas, estipe, bulbo e raízes) e químicas, determinando o teor de nutrientes minerais presentes nas folhas e estipe (N, P, K, Ca, Mg, S, Cl, Fe, B, Cu e Zn). Durante todo o processo foram coletados dados meteorológicos (temperatura máxima, mínima e instantâneas do ar). Os resultados indicaram – Experimento I: a altura da parte aérea e o diâmetro do estipe diminuíram à medida que a irrigação foi reduzida. O acúmulo de biomassa fresca em folhas e estipes, e a biomassa seca de folhas e raízes aumentaram nas mesmas condições. Quando o estresse hídrico foi induzido

em mudas mais jovens, ou seja, quando a alteração da irrigação iniciou-se primeiro, a alocação de fotoassimilados ocorreu proporcionalmente em todos os órgãos das plantas. O maior acúmulo de K, S e Fe na parte aérea foi observado em plantas que foram expostas ao estresse hídrico. O acúmulo de N foi maior na parte aérea das plântulas à medida que a frequência de irrigação aumentou. Entretanto, o comportamento oposto foi observado para P, cujo acúmulo foi menor no tratamento testemunha. – Experimento II: As plântulas expostas a 25 % de sombra após 40 dias da semeadura apresentaram melhor características até os 90 dias de idade, mas não apresentaram boas características após 8 meses sob condições de luz solar. O melhor processo de rustificação para obtenção de plantas de alta qualidade, adequado para adaptação em campo foi o tratamento com 50 % de sombra nos primeiros 30 dias no interior da estufa, seguido de 25 % de sombra nos 30 dias seguintes e após transplantado para o viveiro e exposto a pleno sol, o qual expôs as mudas à luz solar direta na idade precoce. – Experimento III: as variáveis altura da parte aérea, comprimento do estipe, diâmetro do estipe, comprimento da folha mais velha, número de folhas definitivas e número de folíolos na folha mais velha não tiveram nenhuma relação com a adubação de K aos 15 dias antes do transplântio do ambiente controlado para o viveiro a pleno sol. Foi observada elevada resposta a aplicações de K com concentração de 3500 mg L<sup>-1</sup> no acúmulo de biomassa em folhas, estipe e raízes frescas aos 15 dias depois de realizadas as aplicações. Adubações com concentração de K de 2250 mg L<sup>-1</sup> aos 15 dias que antecedem o transplântio para o viveiro a pleno sol, apresentou maior acúmulo de biomassa secas em raízes. Índice de Qualidade Dickson (IQD), não mostraram diferença estatística significativa entre os tratamentos. Em concordância com os resultados obtidos a partir dos diferentes experimentos e entendendo que estes resultados estão provavelmente correlacionados com as condições microclimáticas em ambiente controlado abordados nesse estudo e as condições climáticas da região brasileira onde foram realizados os experimentos, concluiu-se que as mudas de macaúba apresentam resposta positiva à diminuição da frequência de irrigação de duas vezes por dia para uma vez por dia a partir dos 30 dias após a semeadura. Na aplicação de um processo de rustificação por radiação, as mudas de macaúba apresentaram melhor desenvolvimento e adaptação a condições de pleno sol quando estas são colocadas sob sombrite de até 25 % quando a partir dos 30 dias após semeadura e posteriormente sendo transplantadas e alocadas em viveiro a pleno sol aos 60 dias após semeadura. A adubação potássica apresentou resposta positiva em mudas de macaúba em estágio de pré-viveiro quando aplicada aos 15 dias antes do transplântio para o viveiro, assim conclui-se que a adubação recomendada é: 1.5 mg L<sup>-1</sup> de

Uréia, 2.5 g/L de KCl, 0.9 g/L de MgSO<sub>4</sub>, 0.9 g/L de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 1.5 g/L de ZnSO<sub>4</sub> e 2,1 g/L de CuSO<sub>4</sub>.



## ABSTRACT

HERNÁNDEZ GUZMÁN, Cindy Patrícia, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2018. **Hardening Process for Water, Nutritional and Solar Radiation in Macaúba Seedlings.** Advisor: Hemlley Maria Acioli Imbuzeiro. Co-advisors: Leonardo Duarte Pimentel and Paulo José Hamakawa.

The hardening is a fundamental process for improving the physical and physiological characteristics of seedlings produced in nurseries. This process, when performed in the correct way, can contribute to the precocity of seedlings in the nursery and to the survival in the field. For the Macaúba seedling production system, the process of hardening has been practiced empirically in each transition from the productive phase: from pre-nursery to nursery and from nursery to field. During these transitions, yellowing and mortality of the seedlings are observed, which casts doubt on the effectiveness of this process. In this sense, the objective of this work is to develop an accurate hardening process for water, nutrients and solar radiation of Macaúba seedlings. For this, three new experiments were carried out in environments with distinct micrometeorological characteristics: Controlled environment and at full sun (Pre-nursery and nursery, respectively): Experiment I - Evaluation of the morphological, physiological and nutritional effect of the alteration of the frequency of irrigation in seedlings of Macaúba in pre-nursery. Experiment II - Evaluation of the physical and physiological characteristics of the effects of the radiation variation in the pre-nursery production phase. Experiment III - Evaluation of the morphological, physiological and nutritional effect of the alteration of irrigation frequency in pre-nursery Macaúba seedlings. All three experiments were conducted in a commercial nursery belonging to the company *Acrotech Viveiros* using controlled environment (irrigation, radiation and temperature), located in the municipality of João Pinheiro, in the state of Minas Gerais, Brazil, located at latitude 17°42 '34 "S, longitude 46° 15 '46 "W and altitude of 605 m. To evaluate the isolated effect of radiation, water and nutrients, the experiments were conducted using a different set of Macaúba seedlings for each experiment. Destructive analyzes were carried out to evaluate the physical characteristics (number of leaves, shoot diameter, shoot length and roots and mass of fresh and dry matter of leaves, scion, bulb and roots) and chemical, determining the mineral nutrients content leaves and stipe (N, P, K, Ca, Mg, S, Cl, Fe, Zn and Mn). During the whole process, meteorological data were collected (maximum, minimum and instantaneous air temperature). The results indicated - Experiment I: shoot height and stipe diameter decreased as irrigation was reduced. The accumulation of fresh biomass in leaves and stem, and the dry biomass of leaves and

roots, increased under the same conditions. When water stress was induced in younger seedlings, photoassimilate allocation occurred proportionally in all plant organs. The highest accumulation of K, S and Fe in the aerial part was observed in plants that were exposed to water stress. The accumulation of N was higher in the aerial part of the seedlings as the frequency of irrigation increased. However, the opposite behavior was observed for P, whose accumulation was lower in the control treatments. - Experiment II: As a result, seedlings exposed to 25 % shade after 40 days of sowing showed better quality up to 90 days of age, but did not show good quality after 8 months under sunlight conditions. The best process of hardening to obtain high quality plants, suitable for adaptation in the field was the treatment 3, which exposed the seedlings to direct sunlight at the early age. - Experiment III: the variables height of shoot, length of stipe, diameter of stipe, length of older leaf, number of definitive leaves, number of leaflets in older leaf, had no relation with the fertilization of K of 2250, 2500, 2750 and 3500 mg / L at 15 days before transplanting the controlled environment to the nursery in full sun. It was observed a high response to K applications with a concentration of 3500 mg / L in the accumulation of biomass in leaves, stipe and fresh roots at 15 after the applications were made. Fertilizers with a concentration of K of 2250 mg / L at 15 days prior to transplanting to the nursery in full sun showed a higher accumulation of dry. Dickson Quality Index (IQD) did not show statistically significant differences between treatments. In agreement with the results obtained from the different experiments and understanding that these results are probably correlated with the controlled microclimatic conditions in this study and the climatic conditions of the Brazilian region where the experiments were carried out, it was concluded that the Macaúba present a positive response to decreasing the frequency of irrigation from twice a day to once a day from 30 days after sowing. In the application of a process of hardening process by radiation, the macaúba seedlings showed better development and adaptation to full sun conditions when they are placed under sombrite of up to 25 % when from the 30 days after sowing and later being transplanted and placed in nursery in full sun at 60 days after sowing. Potassium fertilization showed a positive response in Macaúba seedlings at the pre-nursery stage when applied at 15 days before transplanting to the nursery. Thus, the recommended fertilization was: 1.5 g / L Urea, 2.5 g / L KCl, 0.9 g / L MgSO<sub>4</sub>, 0.9 g / L H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 1.5 g / L ZnSO<sub>4</sub> and 2.1 g / L CuSO<sub>4</sub>.

## INDICE

1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	5
2.1. Componentes Meteorológicos .....	5
2.1.1. Balanço de Radiação .....	5
2.1.2. Balanço Hídrico .....	10
2.2. Fisiologia das plantas sob condições de estresse .....	13
2.2.1. Estresse Hídrico .....	13
2.2.2. Estresse por radiação .....	14
2.2.3. Adubação Potássica .....	16
2.3. Macaúba ( <i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. Ex Mart) .....	16
2.3.1. Características Botânicas .....	16
2.4. Importância econômica .....	18
2.4.1. Biocombustíveis .....	20
3. OBJETIVOS .....	22
3.1. Geral .....	22
3.2. Específicos .....	22
4. METODOLOGIA GERAL .....	23
4.1. Local e época .....	23
4.2. Espécie .....	24
4.3. Estrutura .....	24
4.4. Condições Ambientais dentro da estufa .....	25
4.1.1. Radiação solar .....	25
4.1.2. Temperatura .....	26
4.1.3. Umidade relativa .....	27
5. Avaliações .....	28
5.1.1. Matéria Fresca e seca da parte aérea e raiz .....	28
5.1.2. Matéria seca da parte aérea e da raiz .....	28
5.1.3. Altura de plantas e diâmetro do coleto .....	29
5.1.4. Análise da qualidade das mudas de Macaúba .....	29
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	30

CAPITULO I - CARACTERÍSTICAS MORFOLOGICAS, FISIOLÓGICAS E NUTRICIONAIS DOS EFEITOS DA VARIAÇÃO DA FREQUENCIA DE IRRIGAÇÃO EM FASE DE PRODUÇÃO DE PRÉ-VIVEIRO EM MUDAS DE MACAÚBA. ....	35
1. INTRODUÇÃO.....	36
2. MATERIAL E METODOS.....	38
2.1. Tratamentos e Procedimentos de Amostragem .....	38
2.2. Delineamento Experimental .....	39
3. RESULTADOS .....	40
3.1. Características morfológicas.....	40
3.2. Análise de Produção de Biomassa .....	42
3.3. Análise foliar.....	44
4. DISCUSSÃO .....	48
5. CONCLUSÕES .....	52
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	53
 CAPITULO II - CARACTERÍSTICAS MORFOLOGICAS E FISIOLÓGICAS DOS EFEITOS DA VARIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO A RADIAÇÃO SOLAR EM MUDAS DE MACAÚBA EM FASE DE PRODUÇÃO PRÉ-VIVEIRO E VIVEIRO.....	 55
1. INTRODUÇÃO.....	56
2. MATERIAL E METODOS.....	58
2.1. Procedimentos Experimentais.....	58
2.2. Tratamentos .....	58
2.3. Modelo Estatístico .....	59
3. RESULTADOS .....	60
3.1. Estádio de Pré-Viveiro .....	60
3.1.1. Análise Morfológica.....	62
3.1.2. Análises da Biomassa Acumulada.....	65
3.1.3. Análise dos fotoassimilados em estágio de pré-viveiro.....	70
3.2. Estádio Viveiro (Validação do processo de Rustificação).....	74
3.2.1. Análises Morfológica .....	76
3.2.2. Análises do Acúmulo de Biomassa .....	78
3.2.3. Análises de Fotoassimilados Acumulados em Estádio de Viveiro .....	84
3.3. Índice de Qualidade .....	86

4.	DISCUSSÃO.....	88
5.	CONCLUSÃO.....	91
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	92
CAPITULO III – RUSTIFICAÇÃO NUTRICIONAL EM MUDAS DE MACAÚBA EM FASE DE PRE-VIVEIRO E VIVEIRO. ....		
		94
1.	INTRODUÇÃO.....	95
2.	MATERIAIS E METODOS.....	97
2.1.	Procedimentos Experimentais.....	97
2.2.	Tratamentos .....	97
2.2.1.	Análises dos Tecidos vegetais .....	98
2.3.	Modelo Estatístico .....	99
3.	RESULTADOS .....	100
3.1.	Primeira Coleta: Análises aos 3 meses (90 dias) .....	100
3.2.	Segunda Coleta: Análises aos 8 meses em Viveiro (11 meses de vida) .....	105
3.3.	Terceira Coleta: 9 meses em campo (20 meses de vida) .....	110
4.	DISCUSSÃO.....	111
5.	CONCLUSÃO.....	114
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	115

# 1. INTRODUÇÃO GERAL

O interesse principal de uma cultura é o rendimento da produtividade, que a sua vez dependem das características fisiológicas das plantas e da interação genótipo-ambiente. A disponibilidade de água, nutrientes, temperatura, intensidade luminosa, entre outros fatores ambientais tem um efeito de relevância no crescimento e desenvolvimento das culturas (MEJIA et al., 2015).

Fatores micrometeorológicos afetam diretamente o processo de produção de mudas tanto na atividade metabólica das plantas como na produção vegetal. O microclima que é criado no ambiente de produção de mudas afeta a atividade fisiológica das plantas assim como a relação destas com microorganismos como fungos e bactérias (FAO, 2017). Esse microclima depende da temperatura, da radiação solar, da umidade, das estruturas utilizadas, substratos, entre outros, e que, em conjunto com as práticas agrícolas utilizadas, podem ocasionar respostas positivas ou negativas no crescimento e produtividade. Estes fatores são fundamentais para obtenção de uniformidade e qualidade das plantas, originando restrições na produtividade agrônômica e florestal quando controladas de forma equivocada.

A relação existente entre as mudas e o microclima do ambiente de produção influencia as características morfológicas, o desenvolvimento e a adaptação das plantas a novas condições ambientais. De modo geral, as principais variáveis micrometeorológicas que afetam a produção de mudas são a umidade, a temperatura do ar e a radiação solar (HOOGENBOOM, 2000). A umidade é o fator microclimático de maior importância no crescimento e produção de plantas. O déficit hídrico provoca nas plantas diferentes respostas bioquímicas e fisiológicas, já que este tem um efeito direto no aumento da temperatura interna do ambiente em razão a sua característica termorreguladora, assim como também na abertura estomática e conseqüentemente na assimilação de CO<sub>2</sub>. A radiação solar é o elemento meteorológico que tem um efeito direto sobre a taxa fotossintética das plantas, afetando a fixação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico, produção de carboidratos e com isso o acúmulo de biomassa das plantas. Sua deficiência ou excesso provoca a redução da fotossíntese e, conseqüentemente, a diminuição do desenvolvimento vegetal (ANDRIOLO et al., 2004). O excesso de radiação solar afeta a temperatura do ar o qual tem um efeito direto nas reações metabólicas; elevadas temperaturas afetam a conversão da energia fotoquímica em energia fotossintética, o que pode dar início a fotoinibição e em casos mais severos, mortes das plantas (ZHOU et al., 2007). A

temperatura do ar é a responsável pelos processos de respiração e transpiração das plantas, das fases fenológicas das culturas, do conteúdo de óleo nos grãos, etc. As plantas podem apresentar aumento excessivo de transpiração em condições de elevada temperatura do ar causando desordens fisiológicas. Elevadas temperaturas podem causar aumento da taxa fotossintética, no entanto o excesso de temperatura causa o efeito inverso nestas, podendo causar danos irreversíveis. A relação dos elementos micrometeorológicos e as plantas é variável, podendo acarretar diversos efeitos fisiológicos e mudanças nas plantas.

Neste sentido, dentro do processo de produção de mudas, várias técnicas são utilizadas nos estádios iniciais com a finalidade de aumentar a adaptação das mudas em campo nos meses que o sucedem; diminuição de irrigação, aumento de adubação nutricional, exposição gradual à radiação solar, etc., os quais permitem diminuir o impacto ambiental das condições microclimáticas nas culturas em campo. Estas técnicas em conjunto se conhecem com o nome de rustificação de plantas.

A rustificação é a responsável pela aclimação gradativa das plantas, o qual procura preparar fisiologicamente as mudas, com o objetivo de melhorar a adaptação às condições ambientais diferentes às atuais, possibilitando assim o aumento da sobrevivência das mesmas. A rustificação é geralmente realizada em mudas que são produzidas em ambientes controlados ou sombreados, na qual procura-se provocar um estresse nas mudas simulando futuras condições ambientais que as plantas poderão encontrar ao longo da sua vida produtiva em campo, tais como elevada radiação solar, altas temperaturas, déficit hídrico, déficit nutricional, entre outros.

A rustificação na maioria de cultivos comerciais é feita para três fatores de relevância no desenvolvimento das plantas; água, radiação e nutrientes. Trabalhos como o de Ferreira, Davide, and Carvalho (1999), no qual foi realizada uma rustificação hídrica em *Eucalyptus citriodora* Hook., demonstraram que este processo influencia a condutância estomática, transpiração e o potencial hídrico foliar das mudas. Este último, reflete a dinâmica do processo de transporte no sistema solo-planta-atmosfera, convertendo-se no principal componente responsável pelo fluxo de água na planta, e que, em palmeiras como o dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.) pode apresentar efeitos tales como a redução de crescimento, do acúmulo de matéria seca (CHAVES et al., 2009) e da transpiração (SURESH et al., 2010). Por sua parte, Motoike et al., (2013), afirmam que a rustificação por nutrientes é possível através de formulações de adubação, onde a relação Nitrogênio/Potássio (N/K) deve ser

reduzida, já que este procedimento ajuda principalmente na qualidade da muda, com a finalidade de resistir às falhas nutricionais durante seu crescimento no campo.

O crescimento da demanda mundial por óleos vegetais é um fato que vem estimulando o cultivo das oleaginosas no mundo todo. Em destaque temos o dendê ou palma africana *Elaeis guineensis*, (Jacq.), o coqueiro *Cocos nucifera* L., o babaçu *Orbignya* spp., o tucumã *Astrocaryum aculeatum*, (Meyer.), o inajá *Attalea maripa*, (Aubl.) Mart. e a Macaúba *Acrocomia aculeata*, (Jacq.) Lodd. (Costa and Marchi 2008). Devido à extensão territorial, a heterogeneidade climática, os diferentes tipos de solo e topografia, o Brasil possui elevado potencial para ser um dos líderes mundiais no que se refere à exploração, produção e comercialização de produtos provenientes de espécies oleaginosas. A palma da macaúba tem recebido crescente atenção devido ao seu potencial para produzir óleo, alimentos e fibras (EMRBAPA Agroenergia, 2012). Por exemplo, no Brasil, a Macaúba é amplamente cultivada para produção de biodiesel. Esta árvore produz altos rendimentos, apesar das condições de temperatura muitas vezes desafiadoras e disponibilidade limitada de água (DA MOTTA et al., 2002; NAVARRO-DÍAZ et al., 2014). No Brasil, a maioria das palmeiras macaúba é cultivada no estado de Minas Gerais para fornecer uma fonte de óleo vegetal para a indústria de biocombustíveis (biodiesel, bioquerosene e outros) e seus frutos podem ser processados para a produção de cosméticos e alimentos (SANTOS et al., 2017).

Apesar do potencial adaptativo da macaúba a condições ambientais adversas (seja hídrico, nutricional ou de elevada radiação solar) em razão da sua alta rusticidade (MOURA et al., 2011), a espécie apresenta desenvolvimento e produtividade controlado pela temperatura, radiação solar e umidade, especialmente na fase de floração e frutificação, já que esta ocorre na estação chuvosa (LORENZI E NEGRELLE, 2006), apresentando características indesejáveis quando estes fatores apresentam-se em déficit ou excesso, reduzindo assim a sobrevivência das mudas em campo. A partir disso, o desafio atual é desenvolver processos aplicáveis durante a fase de produção de mudas que aumentem a sobrevivência das mudas em campo, assim como a adaptação a diferentes condições ambientais.

A partir disso, a capacidade que as plantas de macaúba apresentarem para se recuperar do déficit hídrico, exposição à radiação solar ou déficit nutricional é importante para evitar decréscimos na produtividade, principalmente pela intermitência da água nos solos quando estas estiverem em campo, a qual dependerá especificamente das chuvas ou irrigação



adequada. Atualmente, no processo de rustificação utilizado pelo único viveiro comercial de mudas de macaúba do Brasil, da empresa *Acrotech Viveiros*, observa-se, na mudança de fase de pré-viveiro a viveiro, um estancamento e amarelecimento das plantas. Este efeito indica que o método de rustificação utilizado para estas condições microclimáticas é pouco eficaz. Devido à falta de conhecimentos sobre quais seriam as condições microclimáticas adequadas, assim como os métodos mais eficazes de rustificação, que propiciem melhor adaptação e menor mortalidade das mudas em campo, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia para a rustificação hídrica, nutricional e de radiação de mudas de macaúba, com fornecimento de água, radiação e nutrientes adequados, com base na análise das variáveis micrometeorológicas.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Componentes Meteorológicos

#### 2.1.1. Balanço de Radiação

##### 2.1.1.1. *Balanço de Radiação em Ambiente Controlado*

A radiação solar é definida como sendo a energia radiante emitida pelo Sol, que atinge a atmosfera por ondas eletromagnéticas. É considerado o elemento meteorológico com maior efeito sobre a temperatura, pressão, vento, chuva, umidade, etc., na Terra. Esta radiação tem um efeito sobre as superfícies naturais, evaporação de águas, crescimento de plantas e é a responsável pelo regime térmico da maioria dos sistemas terrestres (PEREIRA, ANGELOCCI & SENTELHAS, 2002).

O espectro de distribuição da radiação solar que chega na superfície terrestre é constituído em sua grande maioria de ondas com comprimentos menores que 3000 nm, e são comumente conhecidas como ondas curtas. Contudo, todos os corpos terrestres também emitem energia, mas esta é distribuída num comprimento de onda acima de 3000 nm, e é chamada de ondas longas (BOMVENTI *et al.*, 2006).

A radiação de onda curta ao chegar na atmosfera e à superfície da Terra pode sofrer absorção, difusão e/ou reflexão. A parte que chega na superfície terrestre pode ter duas origens diferentes; a primeira vindo diretamente do disco solar, chamada de radiação direta ( $R_d$ ) e a segunda vindo indiretamente, por causa da difusão por efeito dos gases componentes, vapor de água, etc., presentes na atmosfera, e é chamada de radiação difusa ( $R_c$ ). Estas duas, quando incidentes na superfície, compõem a radiação solar global ( $R_g$ ) e quando refletida compõem o coeficiente de reflexão ou albedo ( $\alpha$ ) (REBOUÇAS *et al.*, 2015). Esses componentes estão compreendidos na faixa de 150 a 3000 nm do espectro solar (LIBERATO & CARDOSO, 2010) (Figura 1). Todo o sistema de ganhos e perdas dessa banda é chamado de balanço de radiação de onda curta (BOC).

A radiação de onda longa é a responsável por manter a atmosfera e a superfície terrestre aquecida, induzindo a circulação do ar e da água no ciclo hidrológico (LIBERATO; CARDOSO, 2010). A radiação que incide na superfície ( $R_g$ ) é proveniente de fatores atmosféricos e é afetada pelo vapor de água e pela cobertura das nuvens. A radiação que um corpo terrestre emite apresenta um comprimento de onda inversamente proporcional à

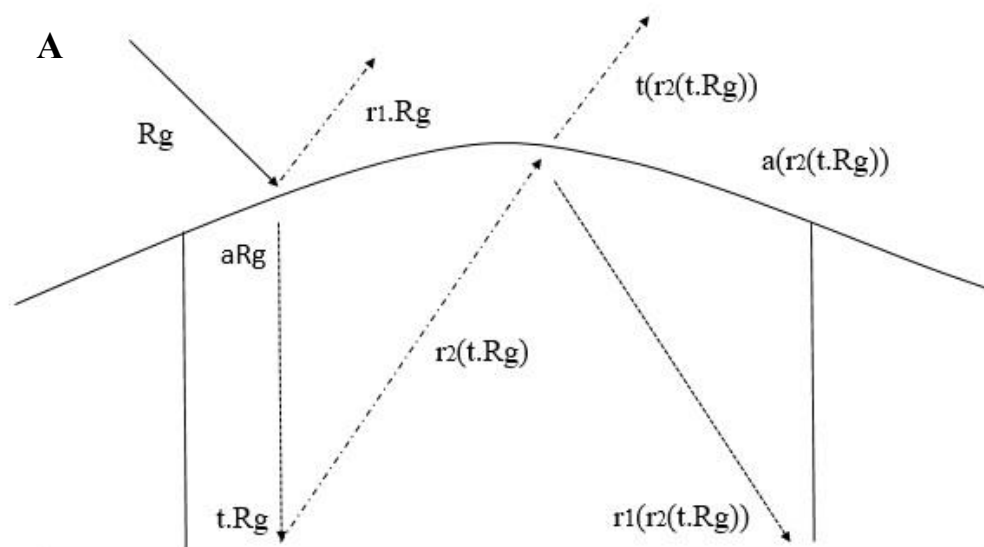
temperatura do mesmo corpo, isto explica o fato das ondas terrestres serem diferentes às ondas emitidas pelo sol. Este comportamento é explicado pela lei de deslocamento ou lei de Wien e a quantidade de energia expressa por unidade de área e tempo está descrita pela lei de Stefan Boltzman. A  $R_s$  refere-se ao fluxo de energia radiante emitida pela superfície em direção à atmosfera, e é afetada pela temperatura e o poder emissor da superfície ( $\epsilon$ ). A diferença entre as entradas e as saídas de energia são quantificados dentro do que se conhece como o balanço de ondas longas (BOL) (Figura 2).

A produção agrícola em ambiente controlado tem como objetivo atenuar a intensidade do fluxo de radiação solar e da temperatura, visto que algumas espécies são especialmente susceptíveis à radiação solar direta, influenciando negativamente no crescimento e desenvolvimento das plantas (REIS *et al.*, 2012). Atualmente, o Brasil possui aproximadamente 22 mil hectares de cultivo controlado, no qual é concentrada a produção principalmente de hortaliças, flores e viveiros (REBOUÇAS *et al.*, 2015).

Um dos fatores que determina as condições dentro do ambiente controlado, é a radiação solar, devido ao fato de esta ter uma relação estreita com a temperatura do ar, aumentando ou diminuindo conforme aconteça variação da radiação solar no ambiente externo. A energia incidente sobre o material que recobre as estufas altera parcialmente a temperatura interna destas, por tanto, depende da incidência da radiação solar sobre a cobertura e o poder de renovação do ar no interior da estrutura que as plantas não sejam afetadas (VALANDRO *et al.*, 2007; REIS *et al.*, 2012).

O saldo de radiação em condições de ambiente controlado sofre alterações, dividindo a energia em três frações: uma parte da radiação incidente é absorvida, outra é refletida pelo plástico (polietileno), e outra parte é transmitida para dentro da estufa, resultando em menores valores de saldo, quando comparados com o saldo em ambiente externo (GALVANI, ESCOBEDO & PEREIRA, 2001; PEREIRA, ANGELOCCI & SENTELHAS, 2002). Durante o dia, geralmente o saldo de radiação é positivo, quando isso acontece, a superfície do solo acumula maior quantidade da energia, fazendo com que ocorra um processo convectivo. Esta convecção não ocorre dentro de estufas já que é interrompido pela cobertura plástica, impedindo a ascensão do ar e aumentando a temperatura interna do ambiente controlado, o que diretamente afeta o balanço de energia (SEEMAN, 1979). Entretanto, durante a noite, a perda de energia é maior para a atmosfera que para o meio interno, em razão da contra-irradiação do plástico, o qual impede a passagem da radiação de onda longa (GALVANI; ESCOBEDO & PEREIRA, 2001).

O balanço de ondas curtas dentro de um ambiente controlado apresenta características diferentes, pois o tipo de cobertura determina quanto destas ondas serão transmitidas, assim por exemplo, a energia que incide nas plantas dentro do ambiente controlado é proveniente de uma primeira reflexão, ou seja, as plantas estão também refletindo ondas curtas. A energia refletida internamente sofre uma segunda reflexão na parte interna da cobertura, indicando que as plantas estariam recebendo ondas curtas de outra origem. Por último, a radiação com duas reflexões sofre mais uma reflexão, indicando uma nova saída de onda curta das plantas. Deve considerar-se que a quantidade de energia emitida após cada reflexão vai diminuindo e assim somente a metade da energia solar que entra no ambiente controlado será aproveitada pela cultura (REBOUÇAS *et al.*, 2015) (Figura 1).



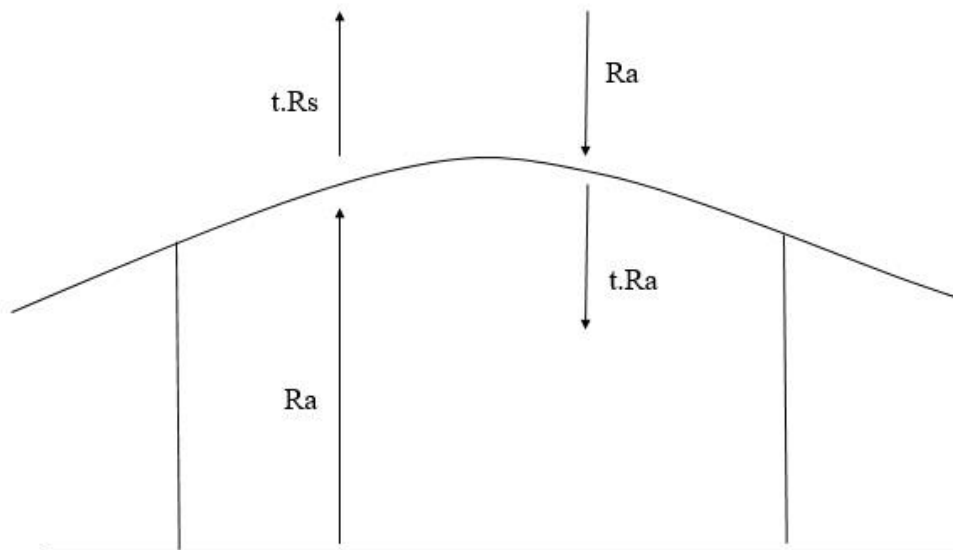
**Figura 1.** Balanço de radiação de ondas curtas em ambiente controlado.  $R_g$ : radiação de onda curta;  $r1.R_g$ : radiação de onda curta refletida;  $aR_g$ : radiação transmitida dentro da estufa;  $r2(t.R_g)$ : segunda reflexão;  $r1(r2(t.R_g))$ : terceira reflexão;  $t(r2)t.R_g$ ): radiação perdida para a atmosfera;  $a(r2(t.R_g))$ : Albedo.

Fonte: adaptação de PEREIRA, ANGELOCCI & SENTELHAS, 2002.

O comportamento das ondas longas em ambiente controlado está determinado pela Lei de Kirchhoff, a qual afirma que “*um corpo emissor de ondas longas também é um ótimo absorvedor de ondas longas*”, isto indica que a emissão das ondas longas dependerá da temperatura das plantas e da cobertura, já que o plástico afeta negativamente o comportamento do BOL em razão da espessura do plástico. Galvani *et al.*, (2001), num trabalho com determinação de balanço de radiação em ambiente controlado, concluíram que

as estufas com cobertura de polietileno diminuiram a incidência de energia solar no período diurno e também as perdas por emissão à noite (Figura 2).

A noite, o gradiente de temperatura com o ambiente externo é o resultado de um balanço influenciado pela temperatura do ambiente e a temperatura dentro do ambiente controlado e os intercâmbios entre o ambiente controlado e o ambiente externo. A inversão térmica pode ocorrer sob certas condições, dependendo do tipo de cobertura. Por exemplo, em noites quando o céu está aberto a energia perdida em forma de radiação infravermelha para o espaço é muito alta. Se o material da cobertura for transparente a toda radiação, em noites sem ventos é possível que aconteça que a imobilidade do ar dentro do ambiente controlado possa causar maior redução da temperatura, o que resultaria em inversão térmica (CASTILLA, 2012)



**Figura 2.** Balanço de radiação de ondas longas dentro de ambiente controlado. Ra: radiação de onda longa emitida pela superfície; t.Rs: radiação de onda longa interceptada; Ra: radiação de onda longa; tRa: radiação solar direta interceptada.

Fonte: adaptação de PEREIRA, ANGELOCCI & SENTELHAS, 2002.

#### ***2.1.1.2. Balanço de Radiação a Céu Aberto***

Em condições a céu aberto, a quantidade de radiação solar que chega à superfície cumpre um papel importante na caracterização do tempo e clima de uma região. A radiação

incidente absorvida pela superfície, assim como a emissão tanto da superfície quanto da atmosfera, determinam o balanço de radiação.

Em ambientes abertos (pleno sol) de plantações, sejam comerciais ou naturais, o balanço de radiação está caracterizado pela alta troca de energia entre os componentes meteorológicos, os quais alteram condições térmicas e hídricas do ambiente, devido principalmente à distribuição da radiação solar, que é mais uniforme em comparação à ambientes controlados. Esta distribuição determina a maioria dos fenômenos no sistema atmosfera-terra em larga e meso escala e está ligada à circulação geral da atmosfera, e este por sua vez, aos ventos locais e as chuvas convectivas (SOUZA & ESCOBEDO, 1997).

A incidência direta da radiação tem um efeito sobre o fluxo de calor sensível e latente, afetando o processo fotossintético das plantas, já que a radiação, em condições normais, ajuda na produção e disponibilidade de fotoassimilados, no crescimento e na produção de frutos. Já o excesso de incidência de radiação solar aumenta a taxa transpiratória das plantas, resultando em diminuição da fotossíntese (ANDRIOLO, 2000).

O comportamento das ondas curtas em ambiente de produção de mudas a céu aberto é determinado por todos os componentes meteorológicos; cobertura de nuvens, moléculas e partículas do ar, vapor de água, dióxido de carbono, ozônio e compostos nitrosos. Considera-se esta radiação interceptada como radiação difusa, esta difusão vai depender do tamanho das moléculas de gás presentes na atmosfera. Por esta razão os gases que absorvem mais radiação são importantes no processo de aquecimento global.

Em dias com céu nublado, a radiação apresenta uma amplitude maior entre seus componentes, em relação aos dias com céu claro. Nestes dias a radiação incidente apresenta valores positivos, no entanto o valor da radiação refletida ou albedo também é maior. O fluxo de radiação de onda curta é dependente do albedo.

O albedo varia ao longo do dia, dependendo do ângulo de incidência dos raios solares, sendo maior no início do dia e ao final da tarde, em comparação com os valores ao meio dia (MOURA *et al.*, 2011). A radiação solar incidente que é absorvida durante o dia aumenta a temperatura do ar, devido a que o vapor de água e o dióxido de carbono são gases absorvedores, resultando em aumento na emissão de ondas longas provenientes da superfície durante a noite. O fluxo de onda longa que é emitida pela superfície é resultado da capacidade da superfície de emitir radiação. Em sistemas a céu aberto, as ondas longas estão ligadas à temperatura e a emissão da superfície (MARQUES, 2015), assim a noite, geralmente, o céu

está livre de nuvens, propiciando maior perda de radiação e, conseqüentemente, um resfriamento rápido da superfície, sendo o gradiente de temperatura mais amplo do que em um ambiente controlado. Existe diferença entre o comportamento do microclima em dias de céu limpo e nublado, e este comportamento externo afeta o microclima interno de estufas de produção de mudas.

Em condições de céu limpo, apresenta-se maior incidência da radiação solar, principalmente da radiação solar direta. Em razão disso, a temperatura entre o dia e a noite varia, sendo maior durante o dia e menor durante a noite, principalmente em regiões onde a umidade relativa é baixa, ocasionando esfriamento do ar durante a noite. Por sua parte, em ambientes controlados, apresenta-se alta radiação solar tanto direta como difusa durante o dia e com isso elevada evaporação. A ventilação dentro das estufas permite limitar o aumento excessivo da temperatura e evitar o esgotamento do CO<sub>2</sub>. A faixa de amplitude da temperatura entre o dia e noite é estreita, permitindo que a umidade relativa seja alta (CASTILLA, 2012).

Nos dias com céu nublado, em céu aberto é possível obter uma temperaturas mais estáveis e uma incidência de radiação solar média, principalmente a radiação solar difusa, em razão da radiação que é espalhada pelas nuvens. A umidade relativa aumenta devido a esta ser determinada nestas condições pela temperatura mínima. Já em ambiente controlado, a incidência de radiação solar é baixa e a ventilação permite limitar a alta umidade relativa e o aumento excessivo do CO<sub>2</sub>, do mesmo modo a evaporação é baixa nestas condições (CASTILLA, 2012).

## **2.1.2. Balanço Hídrico**

### **2.1.2.1. Balanço Hídrico a Céu Aberto**

A água nas plantas é absorvida pelo sistema radicular e é perdida por transpiração através das folhas. Só uma pequena proporção da água absorvida pelas raízes é utilizada para o crescimento dos tecidos, sendo transportada como um líquido para o resto da planta através do xilema. Já para os tecidos como ápices e frutos a água é transportada através do floema (CASTILLA, 2012). A quantidade de água dentro de um sistema é medido fazendo um computo das entradas e saídas e dentro do qual são consideradas as variáveis meteorológicas; este cálculo é chamado de balanço hídrico.

O balanço hídrico pode ser definido como a quantidade de água que entra e sai num sistema qualquer em um tempo determinado e considera diferentes escalas espaciais. Assim

por exemplo, numa escala macro o balanço hídrico seria igual ao ciclo hidrológico. Numa escala intermediária, considera-se, por exemplo, uma microbacia em que, quando a precipitação for menor do que a evaporação para a atmosfera em forma de vapor de água a vazão diminui. O contrário acontece quando a precipitação excede a evaporação de água para a atmosfera, aumentando a vazão. Em casos de escalas locais, como culturas, o objetivo deste processo é identificar a capacidade de armazenamento de água e com isso a disponibilidade do solo de cedê-la.

Mediante a determinação do balanço hídrico é possível comparar recursos específicos de água num sistema em diferentes períodos de tempo e desta forma estabelecer o grau de influência nas variações do regime natural. A partir do conhecimento da umidade do solo é possível determinar se uma cultura chegará a expressar o seu melhor desenvolvimento, deixando dessa forma aprimorar as práticas agrícolas que permitam o melhores rendimentos, sendo utilizado também para estimar parâmetros climáticos em diferentes locais (CRUZ et al., 2003).

A determinação do balanço hídrico baseia-se na aplicação do princípio da conservação de massas, a qual estabelece que, para um volume qualquer num determinado tempo, a diferença entre entrada e saída estará condicionada pela variação do volume de água armazenada. Quando as entradas superam as saídas de água o volume de água armazenada aumenta e o contrário acontece quando as saídas superam as entradas. Esta técnica considera tanto o armazenamento quanto os fluxos contínuos de água.

Alguns componentes são primordiais na determinação do balanço hídrico, sendo distribuídos entre entradas e saídas. Dentre as entradas são consideradas: Chuva (P), orvalho (O), escoamento superficial (Ri), escoamento sub-superficial (DLi), ascensão capilar (AC) e irrigação, se houver; nas saídas consideram-se a evapotranspiração (ET), o escoamento superficial (Ro), o escoamento sub-superficial (DLo) e a drenagem profunda (DP).

Considera-se a chuva como a principal entrada de água, assim como o orvalho, mas com a ressalva de que este último é considerado unicamente em regiões muito áridas, sendo desprezível no cálculo do balanço hídrico. Em alguns locais com lençol freático elevado ocorre ascensão capilar de água, mas este tipo de entrada não é relevante. O mesmo acontece com o movimento de água de forma horizontal, pois em áreas homogêneas um contrabalança o outro.



A evapotranspiração é considerada um dos parâmetros mais importante no ciclo hidrológico (SHARMA, 1985), pois é a principal saída de água do sistema solo-planta tanto por transpiração da vegetação quanto pela evaporação do solo. Penman (1956) define a evapotranspiração como sendo a quantidade de água perdida na unidade de tempo por uma cultura verde, de pequeno porte, cobrindo completamente o solo, de altura uniforme e não submetida a qualquer restrição de água. No entanto este conceito não encaixa dentro das condições normais de campo, já que a medida que o solo perde água, a evapotranspiração irá ocorrer até atingir o limite de armazenamento, nesta condição é chamado de evapotranspiração real (VIANELLO & ALVES, 2012). Outra importante saída de água é a drenagem profunda, a qual a água proveniente das chuvas é infiltrada no solo atingindo o lençol freático.

A medida da evapotranspiração pode ser efetuada de duas formas, utilizando medidas diretas como parcelas experimentais e lisímetro. O lisímetro é um sistema utilizado para medição da evapotranspiração e atualmente é o método mais preciso para a determinação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). Este é composto por tanques com um volume determinado (mínimo de 1 m<sup>3</sup>) alocados no solo. Os tanques possuem um sistema de drenagem, células de cargas, medidores, balanças, etc., (UFBH, 2011).

Desta forma, todo balanço hídrico inicia geralmente com o medição da precipitação, em razão desta ser a principal entrada de água, a qual é repartida entre os processos de evapotranspiração, escoamento e infiltração. Para todos os efeitos, os componentes que serão calculados correspondem à equação simplificada do balanço hídrico.

#### ***2.1.2.2. Balanço Hídrico em Ambiente Controlado***

Em ambiente controlado, a temperatura do ar e do solo, a umidade do ar, vento, balanço de radiação e energia e a evapotranspiração são alterados em ambientes controlados e, conseqüentemente, altera o balanço hídrico de um sistema produtivo.

O ambiente controlado e seu sistema de controle microclimático oferece uma oportunidade para otimizar as condições relativas ao uso da água num cultivo, considerando que dentre do intervalo entre completa hidratação da planta e o estresse por déficit hídrico acontecem diversos processos fisiológicos que possuem seus próprios limites e sensibilidades que podem alterar os processos internos da planta. Com isso, a produção de alimentos de boa qualidade depende, em grande medida, do status da água dentro da planta, sendo a

fotossíntese o principal processo a ser afetado em razão da condutância estomática. A extensão dos tecidos, área foliar e volume de frutos também são influenciadas pelo status da água, afetando a distribuição da matéria seca (CASTILLA, 2012).

Em geral, a ET apresenta valores menores do que em condições externas ao ambiente controlado, devido principalmente à atenuação da radiação solar ocasionada pelo plástico, em que ao mesmo tempo é reduzido o efeito dos ventos que é o principal responsável da demanda evaporativa da atmosfera (TEIXEIRA, 2001).

A medição da evapotranspiração neste ambiente requer algumas mudanças para obter com precisão os resultados. Assim recomenda-se fazer esta estimativa utilizando um tanque Classe A dentro do ambiente controlado à uma altura de 15 cm da superfície do solo, ou utilizando de lisímetro, método mais comumente utilizado neste tipo de ambiente.

Para o cálculo dos requerimentos de água em cultivos sob ambiente controlado vários modelos simples tem sido desenvolvidos, utilizando como base o modelo de Penman-Montith e a metodologia proposta por Allen *et al.*, (2006) objetiva determinar os requerimentos de água nos cultivos em ambiente controlado mediante a determinação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) utilizando o método de Penman-Montith.

## **2.2. Fisiologia das plantas sob condições de estresse**

### **2.2.1. Estresse Hídrico**

A água é a substância mais importante no crescimento das plantas e a responsável pela maioria dos processos bioquímicos. A água constitui entre 75 a 95 % da massa dos tecidos das plantas, dependendo do tipo de metabolismo destas (PIMENTA, 2004).

O movimento de água na relação solo-planta-atmosfera acontece do solo para as raízes, das raízes para os tecido do estipe e das folhas e posteriormente sendo perdida para a atmosfera em forma de vapor de água no processo conhecido como transpiração. Aproximadamente 1 L de água é absorvido pelas raízes para acumular 2 g de matéria orgânica. A translocação da água dentro desse sistema acontece por três processos principais: o fluxo de massa, a difusão e a osmose (KERBAUY, 2004). O fluxo de massa acontece quando são aplicadas forças externas ou por gravidade, dessa forma as moléculas movimentam-se em direção na qual a massa de moléculas se movimenta. A difusão é definida como sendo o movimento ao acaso e espontâneo de partículas, íons ou moléculas individuais

de um lugar para outro onde se encontre o mesmo fluido em menor concentração ou menor potencial químico (menor energia livre). A osmose é o processo em que ocorre movimento de água pura para outro lugar contendo solução de sacarose através de uma membrana semipermeável.

A água absorvida pelas plantas é direcionada para as células causando turgidez, definido como o mecanismo que pode manter as plantas eretas mesmo em ausência de tecidos de sustentação. Também é indispensável nos processos fotossintético e metabólico (TAIZ & ZEIGER, 2012). O estado hídrico das plantas depende do equilíbrio entre a quantidade de água absorvida do solo e aquela que é perdida por transpiração, a qual é considerada a principal perda de água. O balanço hídrico positivo gera-se quando a absorção é maior que a transpiração de água, o contrário ocasiona um efeito negativo do balanço.

O déficit hídrico no interior da planta diminui o acúmulo de matéria seca e o crescimento, como resultado da falta de turgidez nas células responsáveis pelo alongamento que ajuda no crescimento.

Na ausência de água ou na presença de estresse hídrico, as plantas atravessam uma sucessão de eventos característicos de estresse que, quando determinado a tempo, pode ser revertido (LARCHER, 2000). Em ordem a conhecer o comportamento das plantas sob estresse, estas apresentam uma sequência de eventos: A primeira fase é de resposta, na qual as plantas são desviadas da sua condição favorável, a estabilidade de algumas estruturas diminui, como são; proteínas e biomembranas, e os processos metabólicos alteram sua atividade normal. A seguinte fase é de restituição, ou resistência, na qual a planta desenvolve características de adaptação a nova condição. Durante esta fase, as plantas começam um processo de resistência, o qual aumenta conforme o estresse for mais prologando. A normalidade das funções acontece ainda sob condições de estresse, este processo de adaptação das mudas é conhecido como rustificação. A última fase, ou fase final, acontece quando o estresse é muito prolongado ou aumenta sua intensidade, ocasionando uma diminuição das defesas das plantas, ficando assim exposta para o ataque de patógenos, podendo ocasionar a morte.

### **2.2.2. Estresse por radiação**

Os efeitos que a elevada radiação junto com altas concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera

causam nas plantas estão intimamente ligados, pois a concentração deste último altera-se diretamente com a taxa fotossintética, a qual regula o mecanismo estomático (KERBAUY, 2013). O CO<sub>2</sub> por ser um componente básico no processo de fotossíntese, promove alterações no metabolismo, crescimento e fisiologia das plantas. As células guardas respondem de duas formas ao aumento de CO<sub>2</sub>: O aumento da concentração de CO<sub>2</sub> favorece a formação de malato, que por ser participante do complexo processo de obtenção de adenosina trifosfato (ATP), aumenta o turgor das células guardas ou o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> pode diminuir o turgor das plantas.

A causa disto, em muitas espécies de interesse econômico, a produção de mudas é realizada em ambiente controlado para diminuir a radiação solar direta. Dentro das estufas, a radiação que é recebida e transmitida para dentro da estrutura é, em sua maior parte, radiação difusa, que por sua vez corresponde a maior quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (CABRERA et al., 2009).

O aparato fotossintético das plantas é capaz de ter uma ótima eficiência em relação à absorção de radiação fotossinteticamente ativa. Esta eficiência refere-se à máxima utilização de carbono por causa da formação de polissacarídeos. Quando a quantidade de radiação que atinge às folhas aumenta, provoca um aumento na energia e, conseqüentemente, na quantidade de fótons que chegam nas folhas, fazendo com que a planta não consiga assimilar toda a radiação que está chegando a ela. Com isto, acontece uma diminuição da produção fotossintética da folha, uma vez que os pigmentos fotossintéticos sobrecarregam-se ocorrendo redução no transporte de elétrons no sistema fotossintetizante.

Com o aumento da energia, as enzimas Rubisco e Pcpase alteram sua atividade fazendo com que aconteça saturação destas enzimas, levando a fotossíntese ao seu máximo. Em seguida, um aumento da temperatura e da radiação fotossinteticamente ativa produziria a desnaturalização das proteínas e a fotossíntese entraria em colapso. Isto causaria decréscimo da produção fotossintética resultando em baixa utilização quântica, baixo rendimento assimilatório, morte celular e produção de radicais livres. Em seguida, quando a quantidade de radiação continua, acontece fotodestruição, a qual consiste na destruição dos pigmentos fotossintéticos e das estruturas dos tilacóides. Este processo pode acontecer de forma natural ou induzida.

### **2.2.3. Adubação Potássica**

A adequação do processo produtivo de mudas considera-se crucial para obter características desejáveis que permitam a adaptação das mudas em campo. Durante este período a fertilidade seja do solo ou do substrato é de vital importância para incrementar o crescimento, desenvolvimento e qualidade das mudas (FEITOSA, 2011). Assim, dentre das exigências nutricionais das plantas, o potássio é considerado nutrientes essencial, principalmente pelo seu efeito no processo osmótico nas células vegetais (SILVA et al., 2014).

O K é um elemento ativo no crescimento meristemático das plantas, devido a que este atua diretamente em vários fitohormônios, além da participação nas reações da fotossíntese, respiração, síntese de proteínas, é de vital importância para sobrevivência das plantas. Uma das principais participações do potássio compreende a regulação de abertura e fechamento dos estômatos, que ao mesmo tempo regula a transpiração e entrada de CO<sub>2</sub> ao sistema (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

A maioria das plantas apresenta alta tolerância a grandes concentrações de potássio sem afetar os processos metabólicos destas. No entanto, ao déficit de potássio as plantas apresentam redução do crescimento e de folhas novas, assim como também clorose amarelada em folhas velhas. Em alguns plantios, o fruto pode apresentar baixo crescimento e falta de firmeza (BERGMAN, 1992). A adubação potássica em níveis adequados permite às plantas desenvolver o sistema radicular, no qual as raízes podem guardar até 16 % do potássio total da planta (MALAVOLTA et al., 1997), regulando a perda de água em condições de estresse hídrico e altas temperaturas, além de aumentar a resistência dos tecidos vegetais em baixas temperaturas (MEURER, 2006).

## **2.3. Macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart)**

### **2.3.1. Características Botânicas**

Segundo Grin (2014), a classificação botânica completa da macaúba é: Reino: vegetal; Divisão: *Angiospermae*; Classe: *Monocotyledoneae*; Subclasse: *Espadiciflorae*; Tribo: *Coccoineae*; Família: *Arecaceae*; Sub-família: *Cocosoideae*; Ordem: *Principes*; Super Ordem: *Arecanae*; Gênero: *Acrocomia*; Espécie: *Acrocomia aculeata*; Nome científico: *Acrocomia*

*aculeata (Jacq) Loddiges ex Mart.*

O termo *acrocomia* é proveniente do grego *akron* que significa cume e *Komé* que significa cabeleira, referindo-se ao formato de coroa que apresenta a copa.

Lorenzi (2010), afirma que a família abrange aproximadamente 2.700 espécies distribuídas em aproximadamente 240 gêneros. O gênero *Acrocomia* é composto por 15 espécies diferentes e relata-se que aproximadamente 10 destas seriam nativas do Brasil.

É uma palmeira oleaginosa, nativa das florestas tropicais com ampla distribuição na América do Sul e Central; desde a Argentina até o sul do México. Em alguns países como Equador e Peru não observou-se a presença desta espécie. No Brasil relata-se uma grande dispersão e presença de maciços em quase todo o território nacional (com exceção da região Sul), apresentando povoamentos em regiões com alta incidência de radiação solar, solos arenosos e de baixa umidade (MDA *et al.*, 2014) e onde os períodos de seca e chuva são bem definidos. Raramente é encontrada em regiões secas e frias (SODRÈ, 2005). Os maiores povoamentos tem sido encontrados nos estados de São Paulo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Piauí e Ceará, mas a sua predominância ocorre principalmente no cerrado brasileiro (AMARAL, 2007).

A macaúba possui estipe ereto e cilíndrico, sem ramificações, com comprimento de aproximadamente 15 m de altura e de 30 cm de diâmetro, caracterizado por possuir espinhos (acúleos) pontiagudos na região dos nós, com cerca de 10 cm de comprimento (SILVA, 2007).

As folhas são pinadas e compostas com dimensões entre 4 a 5 m de comprimento e com 130 folíolos em cada lado sendo a região central caracterizada por possuir espinhos (LORENZI & NEGRELLE, 2006; CARVALHO *et al.*, 2011).

As inflorescências são em espádice possuindo aproximadamente 250 ráquias, podendo variar entre 10 a 36 cm de comprimento, de cor amarela, organizadas em cachos, os quais encontram-se controlados por uma espata com dimensão de até 2 m de comprimento (BRITO, 2013).

A floração da macaúba, ocorre geralmente durante a estação chuvosa. Desta forma considera-se este fator climático como o de principal importância para este cultivo. Os frutos são esféricos, de cor marrom e diâmetro aproximado de 2,5 a 5,0 cm de diâmetro. Geralmente, o fruto é dividido em quatro partes: epicarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoa. O epicarpo é duro de cor verde-amarela, o mesocarpo é fibroso de cor amarela, o endocarpo possui uma parede negra coriácea e a amêndoa é oleaginosa e pode ser comestível (ZANATTA, 2015).

Segundo Carvalho (2011), o fruto possui elevado potencial produtivo, especialmente pelo aproveitamento total deste, podendo ser utilizado tanto *in natura* quanto em processo de extração de gordura. O mesmo autor afirma que a composição de um fruto pode ser expressa percentualmente em 21, 38, 34 e 7 % para epicarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoa, respectivamente.

#### **2.4. Importância econômica**

A macaúba é uma palmeira que na atualidade está sendo catalogada como economicamente relevante, colocando-se na mesma escala de importância agrícola da cana-de-açúcar no Brasil devido à sua ampla distribuição no Cerrado e no Pantanal, e pelo seu potencial agrícola (PINHEIRO, GOUDARD & BARBOSA, 2010; CICOCINI, 2012). A espécie caracteriza-se pelo grande potencial econômico observado em seus frutos, sendo este superior a outras palmeiras na produtividade de óleo (SILVA & ANDRADE, 2014).

O cultivo de macaúba é considerado sustentável já que apresenta características favoráveis em aspectos ambientais, econômicos e sociais (CICONINI, 2012). Em uma visão ecológica, este cultivo proporciona a conservação da biodiversidade devido a sua ampla adaptabilidade a plantios consorciados como o feijão, milho, etc., o qual auxilia na recuperação de áreas degradadas (LORENZI, 2006). O cultivo da macaúba permite ser estabelecido junto a um sistema Agrosilvopastoril, graças a arquitetura do dossel que permite que parte da radiação solar atinja o solo favorecendo o crescimento das gramíneas, além dos frutos poderem servir de alimentação para animais ruminantes e outros (MOTTA *et al.*, 2002).

Em relação ao impacto social, a introdução da cadeia produtiva do cultivo de macaúba na economia agrícola brasileira vem proporcionando o aumento da geração de emprego e oportunidades que atingem os diferentes níveis sociais. Amaral (2007) afirma que a exploração da macaúba permite a inclusão de 250,000 famílias no processo produtivo, aumentando com isso a renda no meio rural. Por outra parte, a macaúba está incluída em programas de educação alimentar, já que esta oleaginosa junto com o dendê e o tucumã apresenta minerais como cobre, zinco e potássio, além de carotenóides provitamina A em seus frutos (RAMOS *et al.*, 2008; VIERA, 2008), tornando-se uma alternativa para afrontar a hipovitaminose A no Brasil (COIMBRA, 2010).

Do ponto de vista econômico, o maior interesse da produção de macaúba surge pelas propriedades do seu óleo, podendo ser utilizado em diversos setores. A macaúba, além de possuir alta produtividade apresenta também boa adaptação a condições de déficit hídrico e resistência a pragas e doenças. Isto demonstra uma boa qualidade de competitividade em relação a outras oleaginosas em regiões tropicais (MOURA et al., 2010). Como vantagem, a Macaúba permite ser utilizada de maneira integral; desde as folhas que são utilizadas para alimentação animal e fabricação de linhas de pesca, até a amêndoa que é utilizada como matéria prima para extração de óleo (HIANE et al., 2006). Além disso, a Macaúba pode ser produzida em regiões com condições climáticas diferentes, o que possibilita uma maior abrangência da produção no Brasil (MELO, 2012).

Em Minas Gerais, num trabalho sobre avaliação do potencial produtivo da macaúba, a Embrapa Cerrados (2013), demonstrou que num sistema cultivado é possível obter até 7,6 ton de óleo de polpa, 1,2 t ha<sup>-1</sup> de óleo de amêndoa, 19,3 t ha<sup>-1</sup> de endocarpo e 23,7 t ha<sup>-1</sup> de resíduo de polpa e amêndoa, considerando uma densidade de cultivo de 400 plantas por hectare. Esta produção foi destinada da seguinte forma: 1,2 t ha<sup>-1</sup> de pericarpo foram utilizados para fabricação de cosméticos e alimentação humana; 19,3 ton ha<sup>-1</sup> de endocarpo foram utilizados para carvão vegetal ativado; 23,7 t ha<sup>-1</sup>, correspondente ao resíduo da polpa e amêndoa, foram usados para produção de alimentação animal e 6,9 t ha<sup>-1</sup> de óleo de polpa foram utilizados para a produção de biocombustíveis. Assim, eles afirmam que o rendimento bruto de óleo por prensagem do fruto fresco poderia chegar a até 4,1 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. (EMBRAPA CERRADOS). Os subprodutos do fruto fornecem de 20 a 30 % de óleo, 5 % de farinha comestível, 35 % de tortas e 35 % de combustível de alto poder calórico (LORENZI, 2006).

A produção de frutos frescos compreende, aproximadamente, a 4 cachos por planta (CARVALHO, 2011) que corresponde a 80 kg de frutos/árvore/ano (FILHO *et al.*, 2012) resultando em uma média de 45,6 ton/ha de cachos frescos e de até 8 toneladas de óleo por hectare. Cada cacho produz aproximadamente 6,32 kg de polpa e 1,36 kg de amêndoa, as quais são utilizadas em produtos elaborados para consumo humano de grande valor nutricional energético devido à presença de compostos bioativos (fenólicos e β-caroteno) (SIQUEIRA, 2012) e extração de óleo (SANJINEZ-ARGANDOÑA & CHBA, 2011). Estes valores de produtividade variam com o material genético e a densidade de plantas por área, devido a estes influenciarem no tamanho e quantidade de frutos e na proporção de óleo extraído. Atualmente, são produzidos dois tipos de óleos: um deles é extraído da amêndoa, o qual representa aproximadamente 15 % do total de óleo da planta e é utilizado para produção



de vários produtos como: carvão vegetal, tortas alimentícias para animais, farelo para consumo humano, cosméticos, etc. O outro é extraído do mesocarpo que possui boas características para o processamento industrial e pode ser usado para a produção de combustíveis de origem vegetal.

#### **2.4.1. Biocombustíveis**

Os combustíveis fósseis são poluidores do ambiente por causa da contaminação de solos, água e atmosfera. Diante desse contexto, a utilização do petróleo como fonte de energia está sofrendo grande mudança, por ser uma fonte não-renovável e por produzir altos níveis de poluentes. Assim, o crescimento da necessidade de combustíveis alternativos que diminuam os efeitos negativos ao meio ambiente no mundo tem feito com que muitos países aumentem a produção de biocombustíveis, que sendo originados a partir de fontes renováveis de biomassa, de origem biológica (não-fósseis) (PARENTE, 2003) permitem diminuir a emissão de gases poluentes (KNOTHE *et al.*, 2006). O biodiesel reduz em 67 % os hidrocarbonetos, 48 % o monóxido de carbono, 78 % o dióxido de carbono, 47 % o material particulado e 100 % os óxidos de enxofre (IPEA, 2012).

Os biocombustíveis compreendem atualmente 1 % da energia mundial utilizada em transporte, estando previsto para 2030 um aumento de até 6 %, indicando um aumento em produção de matérias-primas e conseqüentemente aumento na utilização de solos com aptidão agrícola para produção de combustíveis provenientes da agricultura, devendo chegar em aproximadamente 90 milhões de hectares em 2030 (COTULA, DYER & VERMEULEN, 2008).

No Brasil, os primeiros passos para a utilização de energias renováveis ocorreu na década de 1970, quando começou a ser introduzido no mercado o álcool etílico como alternativa para substituir o uso de gasolina, conformando-se assim o PROALCOOL (Programa Nacional de Álcool) em 1975 que incentivava a utilização do uso deste tipo de combustível, permitindo que empresas privadas investissem no desenvolvimento da cadeia produtiva, incentivando a expansão da oferta de matérias-primas principalmente no aumento da produção agrícola (IPEA, 2012). Em 2002 surgiu um outro programa que permitia o desenvolvimento de tecnologias para produção do biodiesel chamado PROBIODIESEL (Programa brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Biodiesel), liderado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia com o objetivo de estimular a produção de biocombustíveis

provenientes de óleos vegetais, permitindo o fortalecimento da cadeia produtiva da Agroenergia. Posteriormente, em 2005 o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) criou o Plano Nacional de Agroenergia, permitindo aumentar pesquisas e inovação nesta área e fortalecendo a agricultura familiar.

Assim, a utilização de energias renováveis que diminuam os efeitos negativos tanto à saúde dos seres vivos quanto ao meio ambiente, vem sendo uma alternativa no país. Uma tonelada de biodiesel, por exemplo, equivale a contenção entre 1,9 e 2,5 toneladas de CO<sub>2</sub> que seriam despejadas na atmosfera. Além desta característica, o biodiesel diminui em quase 55 % a emissão de fuligem e em até 35 % a liberação de substâncias cancerígenas, como os hidrocarbonetos (SILVA, 2007; IPEA, 2010). Em razão disso, a demanda por este tipo de combustível está em crescimento desde 2005, quando até 2009 o Brasil foi o maior exportador, com aproximadamente 4,7 bilhões de litros (IPEA, 2010).

A principal fonte primária para a produção de biocombustíveis são as oleaginosas, por apresentarem características agrícolas e econômicas desejáveis ao desenvolvimento do combustível alternativo. Assim, várias oleaginosas estão sendo utilizadas como fontes de óleos vegetais dentre os quais destacam-se a soja, girassol, amendoim, mamona e com destaque especial, o dendê e a macaúba (CARAMORI *et al.*, 2006).

A macaúba é considerada uma das principais oleaginosas com potencial agroindustrial (MOURA *et al.*, 2010). Destaca-se por ser uma cultura relativamente nova no mercado, mas altamente produtiva em óleos de qualidade e um promissor futuro econômico, principalmente pelo fato de poder ser produzida em regiões que apresentam deficiências hídricas (TEIXEIRA, 2005) e também naquelas regiões menos favorecidas pelas políticas atuais. Os óleos que são produzidos a partir da macaúba, apresentam interessantes características para as indústrias de biocombustíveis no Brasil em comparação a outras culturas utilizadas para mesma finalidade (CAMPOS *et al.*, 2008). Além disso, a produção de óleos desta espécie apresenta viabilidade e alta rentabilidade para o produtor rural, fortalecendo o Plano Nacional de Agroenergia (PIMENTEL *et al.*, 2015).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Geral**

Avaliar o comportamento morfológico, fisiológico e nutricional em mudas de macaúba *Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd. ex Mart., submetidas à alteração hídrica, nutricional e de radiação em condições micrometeorológicas de ambiente controlado.

#### **3.2. Específicos**

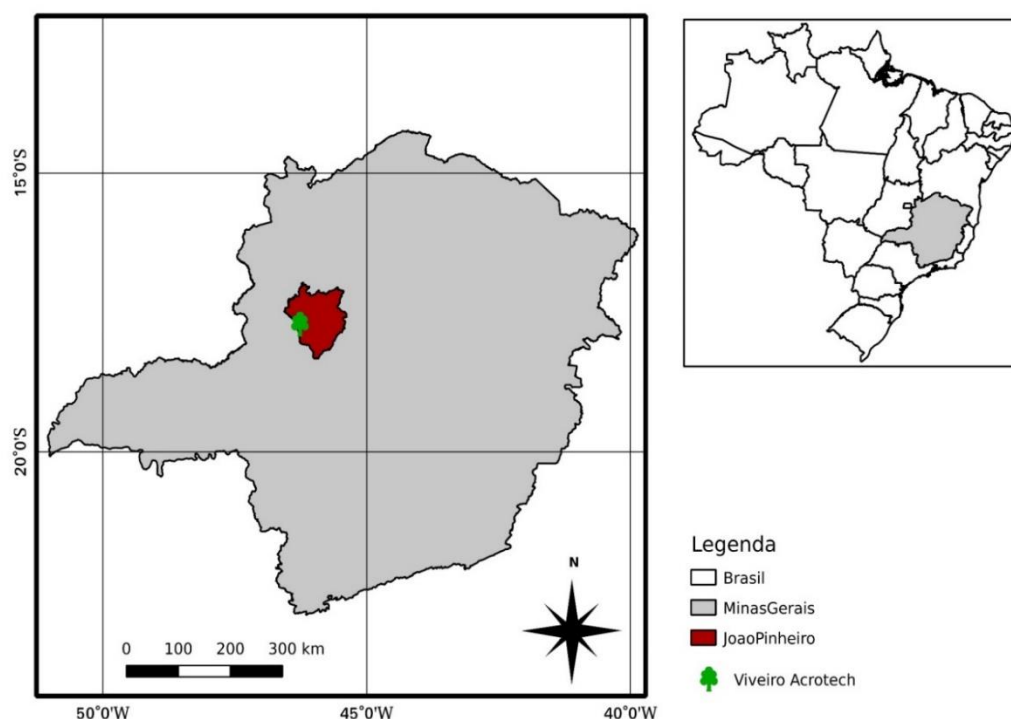
- Determinar as características morfológicas, fisiológicas e nutricionais sob diferentes frequências de irrigação em fase de pré-viveiro.
- Determinar um protocolo de rustificação por radiação mais adequado para a produção de mudas de macaúba em fase de pré-viveiro.
- Determinar um protocolo de rustificação nutricional mediante alteração da adubação potássica na produção de mudas de macaúba em fase de pré-viveiro.

## 4. METODOLOGIA GERAL

### 4.1. Local e época

Os experimentos foram conduzidos de fevereiro a maio de 2016 no viveiro comercial da empresa que comercializa sementes e mudas de Macaúba, *Acrotech Sementes e Reflorestamento*, situado no município de João Pinheiro na porção noroeste do estado de Minas Gerais, situado na região Sudeste do Brasil. Encontra-se localizada na latitude 17° 42' 34" S, longitude 46° 15' 46" W e altitude de 605 m (Figura 3).

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é predominantemente tropical (Aw), com uma estação chuvosa entre os meses de outubro e março. A precipitação média anual é de 1.400 mm e a temperatura varia entre um máximo de 28,8 ° C e um mínimo de 16,5 ° C, com uma umidade relativa média de 41 %.



**Figura 3.** Localização do Experimento. Município de João Pinheiro, noroeste do estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil.

## 4.2. Espécie

A espécie utilizada foi *Acrocomia aculeata*, (Jacq.) Lood. Ex Mart. Os seguintes processos sequenciais foram realizados durante o experimento: enchimento dos recipientes (tubetes) com o meio de cultura (substrato); colocação dos tubos nas bandejas em crescimento; semeio das sementes pré-germinadas nos tubos e transporte das bandejas para ambiente controlado onde permaneceram por 90 dias. Detalhes adicionais sobre o processo de quebra da dormência das sementes não podem ser fornecidos, pois são considerados informações proprietárias pelo viveiro comercial onde o experimento foi conduzido.

## 4.3. Estrutura

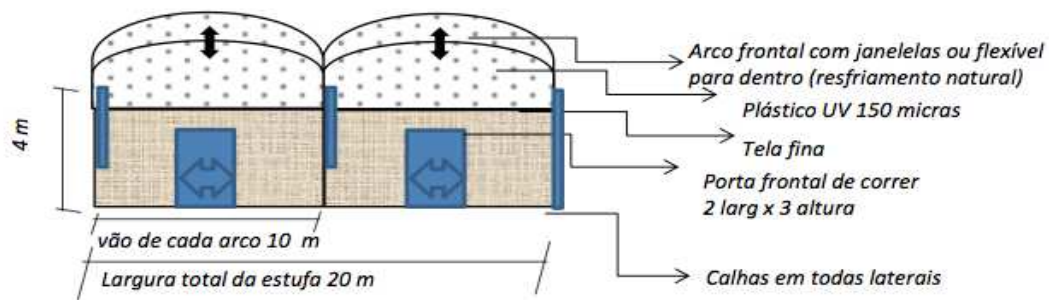
Neste viveiro a produção das mudas de Macaúba é realizada em estufas adaptadas para atender as fases de enraizamento, aclimação, crescimento e rustificação, e a pleno Sol para atender as fases de desenvolvimento e maturação de raízes e folhas secundárias (funcionais).

A estrutura da ambiente controlado apresentou área total de crescimento de 1.200 m<sup>2</sup>, com 20 m de largura e um espaçamento de 10 m, comprimento de 60 m e pé direito de 4 m de altura, contendo suportes de aço galvanizado sendo a superfície do piso interno de terra batida revestido com ráfia de solo e a estrutura de sustentação em aço galvanizado (Figura 2). Sua orientação foi leste-oeste.

A estrutura da ambiente controlado foi coberta com filme plástico de polietileno de baixa densidade (PEBD) com espessura de 152 µm e habilidade de irradiação de 20 %, equipado com uma cortina de sombra móvel interna (com 50 % de transmissão de luz) (Figura 4).

Na fase de pré-viveiro, na estufa, o sistema de irrigação é o de micro-aspersão, que irriga toda a área interna (1.200 m<sup>2</sup>), o qual é ativado automaticamente 2 vezes por dia irrigando uma lamina de água de 4 mm dia<sup>-1</sup>.

A área a pleno Sol abrange um total de 70.000 m<sup>2</sup>, em módulos de 48 m de largura por 288 m de comprimento. O sistema de irrigação é de aspersão, irrigando a área por ciclo produtivo de aproximadamente 8 meses.



**Figura 4.** Corte frontal da ambiente controlado para produção de mudas de Macaúba

#### 4.4. Condições em Ambiente Controlado

##### 4.1.1. Radiação solar

A radiação solar diária no interior da ambiente controlado foi estimada com base nas informações horárias obtidas de uma estação meteorológica localizada no município de João Pinheiro, pertencente ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). O INMET utiliza uma estação meteorológica automática (EMA), marca Vaisala, modelo MAWS 301.

A quantidade de radiação solar bloqueada pelo filme plástico que cobria o ambiente controlado e a redução da radiação devido ao pano que foi instalado no interior do ambiente controlado foi subtraída da radiação solar média mensal global. Estas quantidades foram estimadas em 20 e 50 % da radiação solar global, respectivamente. O resultado da radiação global interna é calculado usando a Equação 1:

$$\begin{aligned}
 R_{g_e} &= R_g - \left( (0,2) \times R_g + (0,5) \times R_g \right) \\
 &= R_g - 0,7 R_g
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

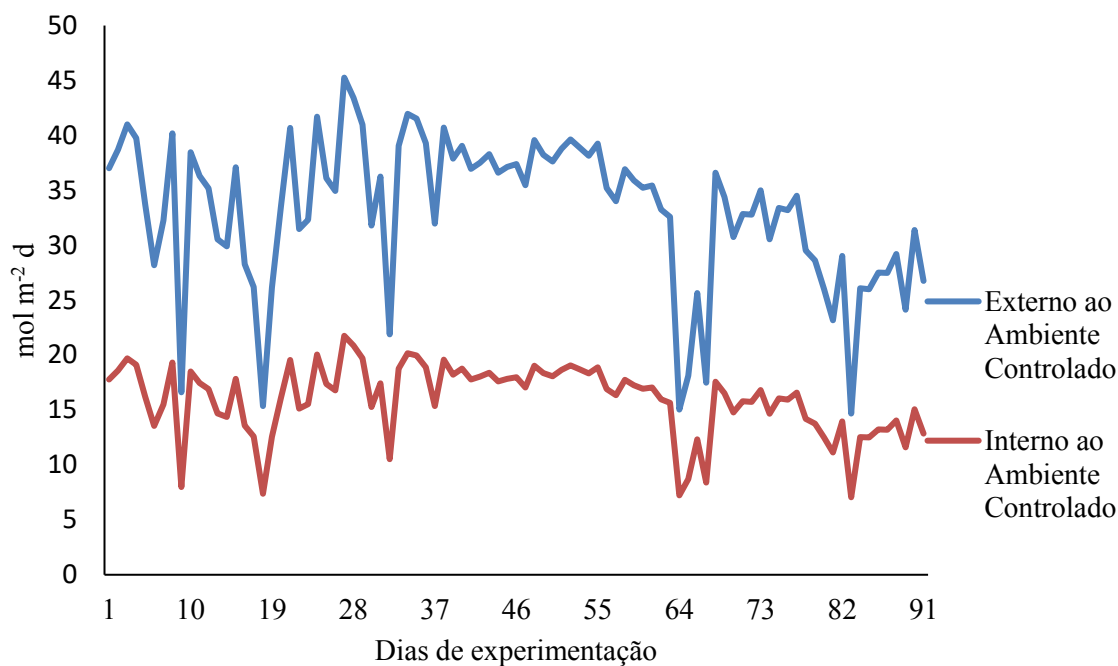
Em que,

$R_{g_e}$  = Radiação solar global no interior da ambiente controlado ( $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ )

$R_g$  = Radiação solar global externa incidente na cobertura da ambiente controlado ( $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ )

Deve-se notar que estes valores correspondem a 3 meses de observação, período durante

o qual houve pouca chuva e baixa nebulosidade (Figura 5).



**Figura 5.** Comparação entre a radiação solar externa e interna ao ambiente controlado quando a atenuação do plástico e do material de sombreamento utilizado no interior é subtraído.

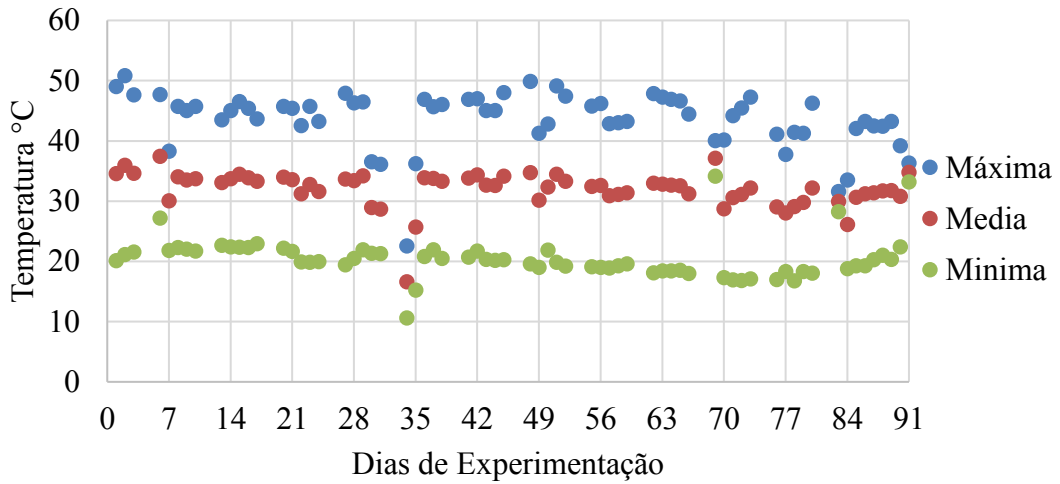
As quantidades de ondas curtas e longas e radiação direta e difusa não foram medidas durante o experimento. Como resultado do filme do ambiente controlado e da cortina de sombra, espera-se que a quantidade de radiação difusa seja maior dentro da ambiente controlado em comparação com o exterior.

#### 4.1.2. Temperatura

A temperatura no interior da ambiente controlado foi medida utilizando um termômetro automático (Incoterm, modelo 7665.02.0.0) que registou a temperatura mínima, máxima e média a traves de bulbo seco e úmido.

O processo de calibração consistiu na comparação do instrumento com um padrão já calibrado. Estes testes são realizados em laboratório, reconhecidos por uma autarquia federal brasileira o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, e sua sigla INMETRO. A temperatura média interna do ambiente controlado foi de 39,2 °C e a

temperatura média externa foi de 23,1 °C (Figura 6).



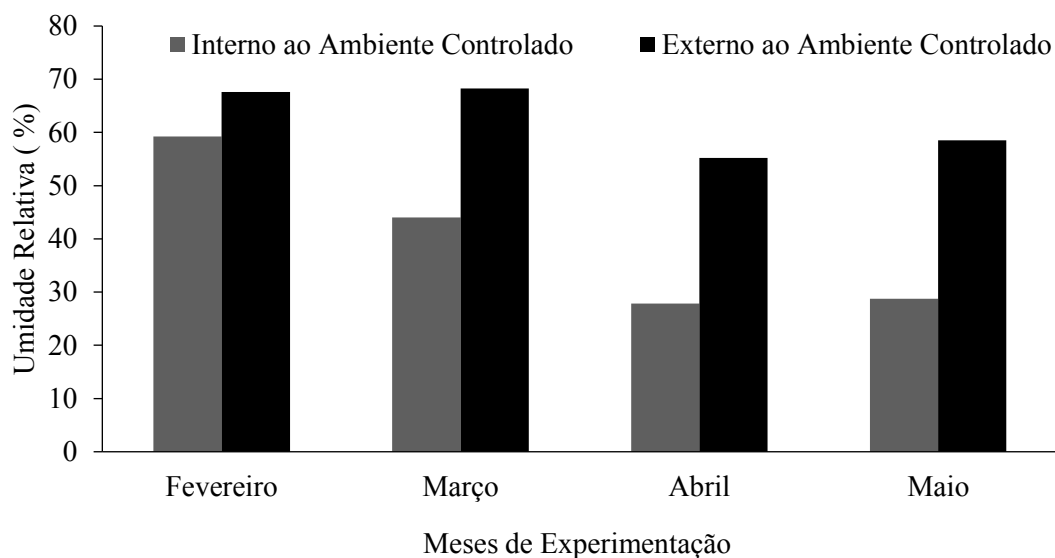
**Figura 6.** Temperaturas máximas e mínimas diárias registradas no interior do ambiente controlado durante o período experimental.

A diferença entre as temperaturas máximas e mínimas diárias dentro do ambiente controlado é maior que a externa e variou entre 23,2 e 1,2 °C. Este intervalo relativamente grande pode ser explicado pelo fato do ar estar aprisionado, impactando assim a temperatura máxima diária mais do que a temperatura mínima diária.

#### 4.1.3. Umidade relativa

Os valores de umidade relativa no interior do ambiente controlado foram obtidos analiticamente usando os dados de temperatura de bulbo seco e úmido registrados pelo psicrômetro. Os valores obtidos foram maiores fora do ambiente controlado do que dentro deste (Figura 7).





**Figura 7.** Média da umidade relativa interna e externa durante o período experimental.

A umidade relativa mais baixa dentro do ambiente controlado está relacionada com a temperatura mais alta alcançada no interior. Ambas as variáveis são inversamente proporcionais, de modo que a temperatura interna mais alta durante o dia faz com que a umidade relativa interna diminua. Visto que a umidade relativa do ar é calculada como a relação entre a pressão do vapor de água na saturação, quando há uma condição de aumento da temperatura do ar, a pressão do vapor de água na saturação também aumenta automaticamente, causando a diminuição da umidade relativa no interior da estufa.

## 5. Avaliações

As variáveis medidas foram as seguintes:

### 5.1.1. Matéria Fresca da parte aérea e raiz

Foi realizado pesando cada parte das plantas utilizadas como amostras em balança de 3 casas decimais.

### 5.1.2. Matéria seca da parte aérea e da raiz

Foi efetuado mediante secagem em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 65 °C até atingir massa constante.

### 5.1.3. Altura de plantas e diâmetro do coleto

Foi medido utilizando régua e paquímetro.

### 5.1.4. Análise da qualidade das mudas de Macaúba

A análise da qualidade das mudas de Macaúba foi realizada com base no índice de Qualidade de Dickson (IQD). O IQD, proposto por Dickson et al., (1960), considera nesta estimativa qualitativa a altura da parte aérea e o diâmetro do colo das mudas, além das biomassas secas da parte aérea, raiz e total, conforme a Equação 2.

$$IQD = \frac{BSM_{tot}}{\left[ \left( \frac{H}{D} \right) + \left( \frac{BSQ_{p.aerea}}{BSM_{raiz}} \right) \right]} \quad (2)$$

Onde,

- $BSM_{tot}$  = biomassa seca total, g;
- $H$  = altura da parte aérea, cm;
- $D$  = diâmetro do colo, mm;
- $BSM_{p. aerea}$  = biomassa seca da parte aérea, g;
- $BSM_{raiz}$  = biomassa seca da raiz, g.

O índice de Qualidade de Dickson é um importante indicador da qualidade de mudas, por considerar no seu cálculo a robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa, sendo ponderados vários parâmetros importantes (Fonseca *et al.*, 2002). Além disso, mostra-se como uma importante ferramenta capaz de prever a qualidade da muda antes do seu plantio no campo. O IQD é uma combinação de variáveis morfológicas e quanto maior o seu valor, melhor a qualidade das mudas.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALLEN, R.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M.: Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, edit. Estudio FAO **Riego y Drenaje** 56, Ed. FAO, ISBN-92-5-304219-2, Roma, 2006.

AMARAL, F. **Estudo das características físico-químicas dos óleos da amêndoa e polpa da macaúba [Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd. ex Mart].** [s.l.] Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho,” 2007.

ANDRIOLO, J. L. et al. Cultivo hidropônico da alface empregando substratos: uma alternativa a NFT? **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 4, p. 794–798, 2004.

BERGMANN, W. Nutritional disorders of plants: development, visual and analytical diagnosis. New York: Gustav Fischer, 1992. 741 p.

BOMVENTI, T. N. et al. Relação entre a radiação de onda longa, precipitação e temperatura da superfície do mar no oceano Atlantico Tropical. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 24, n. 4, p. 513–524, 2006.

BRITO, A. C. **Biologia reprodutiva de macaúba: floração, polinizadores, frutificação e conservação de pólen**, p. 47, 2013.

CABRERA, F. J; BAILLE, A.; LÓPEZ, J. C.; GONZÁLEZ-REAL, M. M.; PÉREZ-PARRA, J. Effects of cover diffusive properties on the components of greenhouse solar radiation. **Biosystems Engineering**, v.103, p.344-356, 2009.

CARAMORI, P.H.; ZULLO JUNIOR, J.; ALFONSI, R.R.; OLIVEIRA, D.; MARIN, F.R.; ASSAD, E.D.; PINTO, H.S. Zoneamento agroclimatológico das principais plantas oleaginosas do Brasil. In CAMARA, G.M.S.; HEIFFIQ, L.S. **Agronegocio de plantas oleaginosas: materias primas para o biodiesel**. Piracicaba: USP ESALQ LPV. 2006. 256 p.

CARVALHO, K. J.; SOUZA, A. L. DE; MACHADO, C. C. **Ecología, Manejo, Silvicultura e Tecnologia da Macaúba** Viçosa, MGConvênio de Cooperação Técnica SECTES/FAPEMIG, , 2011.

CICONINI, G. **Caracterização de frutos e óleo de polpa de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul , Brasil**. 2012.

COIMBRA, M. C. **Caracterização dos frutos e dos óleos extraídos da polpa e amêndoa de guariroba ( syagrus oleracea ), jervivá ( syagrus romanzoffiana ) e macaúba ( Acrocomia aculeata )**, 2010.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress : regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of botany**, n. 103, p. 551–560, 2009.

COTULA, L.; DYER, N.; SONJA VERMEULEN, S. Fuelling Exclusion? The Biofuels Boom and Poor People’s Access to Land, Published by IIED e FAO, 2003.

CRUZ, A. C. R.; PAULETTO, E. A.; FLORES, C. A.; SILVA, J. B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 27:1105- 1112, 2003.

DA MOTTA, P. E. F. et al. Occurrence of macauba in Minas Gerais, Brazil: relationship with climatic, pedological and vegetation attributes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, n. 7, p. 1023–1031, 2002.

EMRBAPA AGROENERGIA. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília, 2012.

EMBRAPA CERRADO. CONCEIÇÃO, L.D.H.C. ANTONIASSI, R., JUNQUEIRA, T.V., BRAGA, M.F., ROGÉRIO, J.B., DUART, I.D., CASTRO, P.D., BELLON., G. Potencial da macaúba e avaliação de maciços. 2013.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2 ed. Londrina: Planta, 2006, 403 p.

FAO, Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura. 2017. Encontrado em 30/07/2018: [http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/home/publicacoes/agrometeorologia\\_dos\\_cultivos.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/home/publicacoes/agrometeorologia_dos_cultivos.pdf)

FEITOSA, R. M. **Diferentes ambientes protegidos e substratos para a formação de mudas bocaiúva, a partir de sementes pré-germinadas**. Mato Grosso do Sul, 2011.

FILHO, A.J.A. COLOMBO, C. A. BERTON, L.H.C. Macaúba: palmeira nativa como opção bioenergética. *Pesquisa e Tecnologia*, v. 9, n. 2, 2012.

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; PEREIRA, A. B. Balanço de radiação e fluxo de calor no solo em ambiente natural E protegido cultivado com pepineiro. *Bragantia*, v. 60, n. 2, p. 139–147, 2001.

GRIN. Germplasm Resources Information Network. Taxonomia das plantas da GRIN. Disponível em: <<http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?1388>> .Acesso em: 15/02/2018.

HENDERSON,

HIANE, P. A. et al. Chemical and Nutritional Evaluation of Kernels of Bocaiuva *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood. *Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas*, v. 26, n. 3, p. 683–689, 2006.

HOOGENBOOM, V.A., The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. *Agricultural and forest meteorology*, v. 104, n. 4. p. 315 - 327, 2000.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). 2012 Biodiesel no Brasil: desafios das políticas públicas para a dinamização da produção. Comunicados no 137.

KERBAUY, G. B. Fisiologia vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 1-37

KNOTHE G, et al., eds. Manual do biodiesel. São Paulo: EdgardBlücher, 2006, pp. 46–

66.

LARCHER, W. Ecologia vegetal, São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2000. 531p.

LIBERATO, A. M.; CARDOSO, F. L. Análises da radiação de onda curta e onda longa na amazônia. **Revista de Geografia**, v. 1, p. 169–182, 2010.

LORENZI, G. M. A. C.; NEGRELLE, R. R. B. *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.: Aspectos Ecológicos, usos e potencialidades. **Visão Acadêmica**, v. 7, p. 12, 2006.

LORENZI, H.; NOBLICK, L. R., KAHN, F.; FERREIRA, E. Flora Brasileira: *Arecaceae* (Palmeiras). **Nova Odessa: Plantarum**, 2010. 384 p

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. rev. e atual. Piracicaba: **Potafós**, 1997. 319 p.

MANFIO, C. E. et al. Avaliação de progênies de macaúba na fase juvenil e estimativas de parâmetros genéticos e diversidade genética. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, p. 63–68, 2012.

MARQUES, H. O. Estimativa do saldo de radiação de uma floresta de transição Amazônia-Cerado por sensoriamento remoto, 2015.

MARTINS, R. F. **Diferentes ambientes protegidos e substratos para a formação de mudas bocaiúva, a partir de sementes pré-germinadas**. Mato Grosso do Sul: Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2011.

MELO, P. G. DE. **Produção e caracterização de biodieseis obtidos a partir da oleaginosa macaúba (*Acrocomia aculeata*)**. 2012.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. (editor). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: SBCS/UFV, p.281-298, 2006.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO (MDA). Diretrizes e recomendações técnicas para adoção de boas práticas de manejo para o extrativismo do fruto da macaúba/bocaiúva, p. 52, 2014.

MOTOIKE, S. Y. et al. **A cultura da macaúba: implantação e manejo de cultivos racionais**. Viçosa: Editora UFV, 2013.

MOURA, M. S. B. DE et al. **Mudanças Climáticas e Modelos Ambientais**, 2011.

NAVARRO-DÍAZ, H. J. et al. The Journal of Supercritical Fluids Macauba oil as an alternative feedstock for biodiesel : Characterization and ester conversion by the supercritical method. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 93, p. 130–137, 2014.

PARENTE, E. J. S.; SANTOS JUNIOR, J. N.; BASTOS, J. A.; PARENTE JUNIOR., E. J. S. Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza: Tecbio, 2003. 66p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Radiação Solar. In: **Agrometeorologia**. [s.l: s.n.]. p. 487.

PIMENTEL, L. D. et al. Effect of Nitrogen and Potassium Rates on Early Development

of Macaw Palm. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1671–1680, 2015.

PIMENTEL, C. A relação da planta com a água. 191 p. 2004.

PINHEIRO, J. C.; GOUDARD, N. R.; BARBOSA, N. DA S. G. **Impactos e benefícios ambientais , econômicos e sociais dos biocombustíveis**, 2010.

RAMOS, M. I. L. et al. Qualidade nutricional da polpa de bocaiúva *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 90–94, 2008.

REBOUÇAS, P. M. et al. Radiação solar e temperatura do ar em ambiente protegido. **Agrogeoambiental**, v. 7, n. 2, p. 115–125, 2015.

REIS, L. S.; Componentes da radiação solar em cultivo de tomate sob condições de ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.7, p.739-744, 2012.

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J. ; CHUBA, C. A. M. . Biometrical, physical and chemical characterization of bocaiuva (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) lodd. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 3, p. 1023–1028, 2011.

SEEMAN, J. Greenhouse climate. In: SEEMAN, J.; CHIRKOV, Y. I.; LOMAS, J.; PRIMAULT, B. (Eds.). **Agrometeorology**. New York: Springer-Verlag, 1979, p.167-178.

SILVA, G. C. R.; ANDRADE, M. H. C. DE. EXTRAÇÃO DOS ÓLEOS DO FRUTO DA MACAÚBA NO NORTE DE MINAS GERAIS : rota de processamento e viabilidade econômica. **Revista de economia agrícola**, v. 61, n. 1, p. 23–34, 2014.

SILVA, J. D. C. **MACAÚBA alimento , energético e industrial**, 2007.

SIQUEIRA, P. B. (2012). **Caracterização Bioquímica e Compostos Bioativos de Macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.). UNICAMP.**

SHARMA, M.L. Estimating evapotranspiration. p. 213-281 in Adv. in Irrigation, Vol III, D. Hillel (Editor)., **Academic Press**, New York. 1985

SODRÉ, J. B. **Morfologia das Palmeiras como meio de identificação e uso paisagístico**, 2005.

SOUZA, J. L. DE; ESCOBEDO, J. F. Balanço de radiação em cultivos de feijão-vagem com e sem cobertura de polietileno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 1–15, 1997.

SURESH, K.; NAGAMANI, C.; RAMACHANDRUDU, K. MATHUR, R. K. Gas-exchange characteristics, leaf water potential and chlorophyll a fluorescence in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings under water stress and recovery. **Photosynthetica**, v. 48. 430-436, 2010.

TAFUR, M. DE et al. Efecto del estrés hídrico sobre la acumulación y distribución de biomasa en *Eucalyptus grandis* W . Hill ex Maiden Effect of water stress on accumulation and distribution of biomass in *Eucalyptus*. **Acta agrônômica**, v. 66, n. 1, p. 56–52, 2017.

TAIZ, L. AND ZEIGER, E. *Plant Physiology*. Artmed, Porto Alegre. 2012.

TEIXEIRA, A. H. D. C. Avaliação dos componentes do balanço de energia durante o primeiro ano de cultura da banana. p. 28–32, 2001.

TEIXEIRA L.A.J. , BATAGLIA O.C., BUZETTI S.R, FURLANI JUNIOR E. Adubação com NPK em coqueiro anão-verde (*Cocos nucifera* L.) – Atributos químicos do solo e nutrição da planta. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 27, n. 1, p 115-119, 2005.

VALANDRO, J. ; BURIOL, J. A; ANDRIOLO, J. L.; HELDWEIN, A. B. Transpiração do tomateiro cultivado fora do solo em estufa plástica e sua relação com os elementos meteorológicos. *Ciência Rural*, v.37, n.6, p.1593-1600, 2007.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. *Meteorologia Básica e Aplicações*. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2012. 460 p.

ZANATTA, S. **Caracterização da macaúba (casca, polpa e amêndoa) e análise sensorial através da Educação do Gosto**, 2015.

ZHOU J, WANG X, JIAO Y, QIN Y, LIU X, HE K, et al. Global genome expression analysis of rice in response to drought and high-salinity stresses in shoot, flag leaf, and panicle. *Plant Molecular Biology* v. 63 p. 591–608, 2007.

**CAPITULO I - CARACTERÍSTICAS MORFOLOGICAS,  
FISIOLOGICAS E NUTRICIONAIS DE MUDAS DE MACAÚBA SOB  
VARIAÇÃO DA FREQUENCIA DE IRRIGAÇÃO EM FASE DE  
PRODUÇÃO PRÉ-VIVEIRO**



## 1. INTRODUÇÃO

A produção de mudas quando realizada em condições micrometeorológicas controladas de umidade, temperatura, luminosidade, etc., apresentam susceptibilidade ao déficit hídrico quando transplantadas a condições de campo. Esta dificuldade de adaptação, resulta em reações fisiológicas negativas que podem levar as plantas à morte. Por outra parte, quando durante a produção de mudas, as plantas são submetidas a aclimação para as novas condições micrometeorológicas as que serão expostas, estas apresentam mais rápida e maior magnitude de adaptação (TEIXEIRA, 2012).

O processo de aclimação das mudas ao estresse hídrico ajuda as plantas a modificar seus atributos fisiológicos e morfológicos, permitindo que a resposta de adaptação ao déficit hídrico aconteça de forma favorável e permita as plantas desenvolver uma compensação homeostática para diminuir os efeitos negativos na taxa fotossintética (FELXAS *et al.*, 2009).

Viveiros florestais realizam a rustificação de mudas submetendo estas a eventos recorrentes de estresse, o qual consiste em diminuir gradativamente o tempo ou a frequência de irrigação, de tal forma a tornar as plantas mais resistentes as variações nas condições ambientais e dessa forma diminuir as perdas (TATAGIBA *et al.*, 2007). A rustificação é realizada para criar nas plantas o que se conhece como 'Memória do estresse' e que Iwasaki e Paszkowski (2014), definem como a facilidade das plantas potencializar processos de defesa contra o estresse ao que foram submetidas em algum momento do processo produtivo delas.

Devido ao aumento mundial da demanda por oleaginosas e óleos vegetais, o objetivo principal da produção destas culturas está baseado principalmente em aumento da produtividade e desta forma melhorar as características que determinam a demanda para cada tipo de óleo. A cultura de macaúba (*Acrocomia aculeata*, (Jacq.) Lodd.), vem tomando espaço dentre das oleaginosas mais produzidas no Brasil devido às propriedades oleaginosas dos frutos (EVARISTO *et al.*, 2016). É considerada uma das espécies mais promissoras como fonte de óleo para a indústria de biocombustíveis (biodiesel, bioquerosene e outros), cosméticos e alimentos. O rendimento agrícola da macaúba varia entre 4.000 e 6.000 litros de óleo por hectare, perdendo unicamente para a produção atual de óleo do dendê (*Elaeis guineensis*, Jacq.), que produz até 8.000 litros de óleo por hectare. A Macaúba pode ser utilizada em sua totalidade; das folhas que são usadas como ração animal e para a fabricação de linhas de pesca até os frutos (grãos) que são usados para extração de óleo (HIANE *et al.*,

2006). Atualmente, dois tipos de óleos são produzidos; um deles é extraído do endosperma, o que representa aproximadamente 15 % do óleo total da planta. Este óleo é utilizado em diversos produtos como: bolos de ração animal, alimentos para consumo humano, cosméticos, etc. (AZEVEDO FILHO, COLOMBO, & BERTON, 2012; SANTOS *et al.*, 2017). O óleo adicional é extraído do mesocarpo, que possui boas características para o processamento industrial e pode ser usado para a produção de biocombustíveis (MARTINS, 2011; MOTOIKE *et al.*, 2013).

Em viveiros comerciais de mudas de macaúba, observou-se uma taxa inaceitável de alta mortalidade de plântulas. Especificamente, notou-se que as plântulas frequentemente sofriam de estresse hídrico que resultava em taxas de sobrevivência reduzidas. O presente estudo avaliou várias frequências de irrigação durante a produção de mudas de macaúba, pois foi hipotetizado que uma redução gradual no número de irrigações permitiria às plantas ajustar suas características fisiológicas e morfológicas, resultando em melhor adaptabilidade às condições de déficit hídrico no campo após o transplante. O estágio de produção de mudas é crítico para se obter material vegetal uniforme. Durante esta fase de crescimento, o tipo de substrato, o volume do recipiente, a irrigação, a fertilização e as condições de crescimento são fundamentais para a obtenção de mudas saudáveis e vigorosas (MARTINS, 2011).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as características morfológicas e fisiológicas de mudas de macaúba, cultivadas sob diferentes laminas de água de irrigação com a finalidade de desenvolver um protocolo de rustificação hídrica durante a fase inicial de produção de mudas (pré-viveiro) que permita aumentar a adaptação em campo.

## 2. MATERIAL E METODOS

### 2.1. Tratamentos e Procedimentos de Amostragem

Durante a primeira parte do experimento (da sementeira até o dia 30), as mudas foram cultivadas em condições controladas, incluindo a irrigação (quantidade e frequência). Os tratamentos foram aplicados conforme a Figura 8.

<b>T0</b>	2 irrigações por dia às 10:00 e 16:00 horas					
<b>T1</b>	2 irrigações por dia às 10:00 e 16:00 horas			1 irrigação por dia às 10:00 horas		
<b>T2</b>	2 irrigações por dia às 10:00 e 16:00 horas		1 irrigação por dia às 10:00 horas			
<b>Sementeira</b>	<b>15 dias</b>	<b>30 dias</b>	<b>45 dias</b>	<b>60 dias</b>	<b>75 dias</b>	<b>90 dias</b>

**Figura 8.** Representação dos três tratamentos de irrigação utilizados durante a produção de mudas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart. T0 (Tratamento Controle) - duas irrigações por dia, durante 90 dias, às 10:00 e 16:00 h; T1 - uma irrigação por dia a partir de 45 dias após a sementeira, às 10:00 h; T2 - uma irrigação por dia a partir dos 30 dias após a sementeira, às 10:00 h (Figura 2). Para todos os tratamentos, a quantidade total de água aplicada durante o experimento foi de 4 mm dia<sup>-1</sup>.

Quando as plântulas atingiram uma altura de aproximadamente 5 cm (após 30 dias), a frequência de irrigação das plantas no tratamento 2 (T2) foi alterada de duas para uma vez por dia. Mudas no tratamento 1 (T1) foram irrigadas com uma frequência de irrigação diferente a partir de 45 dias após a sementeira. As mudas no tratamento controle (T0) foram irrigadas duas vezes ao dia durante todo o experimento. Para todos os tratamentos, a quantidade total de água aplicada durante o experimento foi de 4 mm por dia, a qual é a lamina de água utilizada na produção de mudas no local de experimentação. Foram utilizados 160 mudas, 10 plantas por parcela e 4 repetições por tratamento.

No final do experimento (dia 90), uma amostra de 8 plantas por tratamento (2 plantas por bloco) foi utilizada para análise destrutiva e avaliação do número de folhas, altura da parte aérea, diâmetro do estipe, comprimento da raiz, área foliar e massa fresca e seca das folhas, raízes e estipe.

As amostras foram então colocadas em sacos de papel e colocadas numa estufa de secagem com circulação forçada de ar a temperatura de 65 °C até se obter massa constante.

No final deste período, as amostras foram pesadas para determinar a massa seca das folhas, estipe e raízes. As amostras secas e moídas das folhas, estipe e raízes foram moídas e submetidas a digestão nítrico-perclórica para determinação do teor de macronutrientes (P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Mn, Cu, Fe e Zn). O teor de P foi determinado pelo método de colorimetria, K por fotometria de chama, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn por espectrometria de absorção atômica, e S por turbidimetria. O nitrogênio foi determinado pelo método de Kjeldahl após a digestão com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Os teores de macro e micronutrientes foram expressos em unidades de g kg<sup>-1</sup> e mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

## **2.2. Delineamento Experimental**

Para cada tratamento, quatro blocos foram utilizados em delineamento experimental inteiramente casualizado. O software ASSISTAT V 7.7 beta foi utilizado para as análises.

Foi utilizada análise de variância para avaliar os resultados (usando  $p \leq 0,05$ ). A fim de verificar se houve diferença significativa entre as populações dos tratamentos, foi utilizado o teste F com nível de significância de 5 e 1 % para a razão da maior e menor variância (Fisher, 1935).

A seguir, para avaliar a magnitude das diferenças entre as médias, foi aplicado o teste de comparações múltiplas de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) (Tukey, 1953), que permite avaliar o contraste entre duas médias de tratamentos.

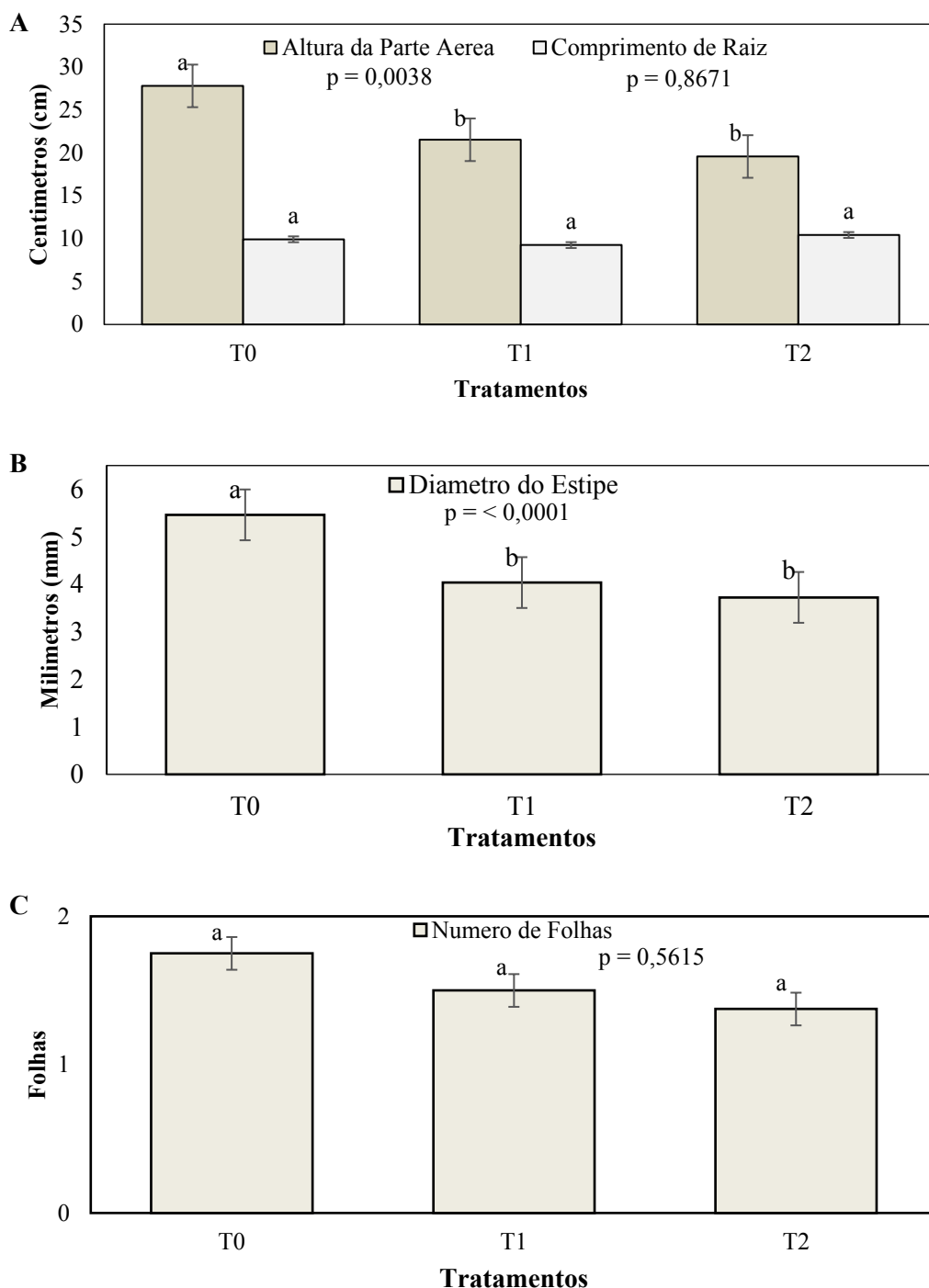
### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Características morfológicas

A altura da parte aérea apresentou diferença significativa (ANOVA:  $F = 16,0457$ ;  $p < 0,01$ ) entre os tratamentos. Valores de 27,80, 21,53, 19,58 cm foram registrados para T0, T1 e T2, respectivamente, representando uma redução de 27 % e 30 % em relação ao tratamento controle, (Figura 9A). Não foram observadas diferenças significativas no comprimento das raízes entre os tratamentos (ANOVA:  $F = 0,1461$ ;  $p > 0,05$ ).

O diâmetro do estipe das plântulas (ANOVA:  $F = 49,96$ ;  $p < 0,01$ ) apresentou diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 9B). O T1 apresentou diâmetro médio do estipe de 4,04 mm e T2 de 3,73 mm, ambos menores que o diâmetro do estipe registrado para o tratamento testemunha, igual a 5,46 mm, representando uma redução de 26 % e 32 %, respectivamente.

O número de folhas para os diferentes tratamentos não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (ANOVA:  $F = 0,6364$ ;  $p > 0,05$ ) (Figura 9C).

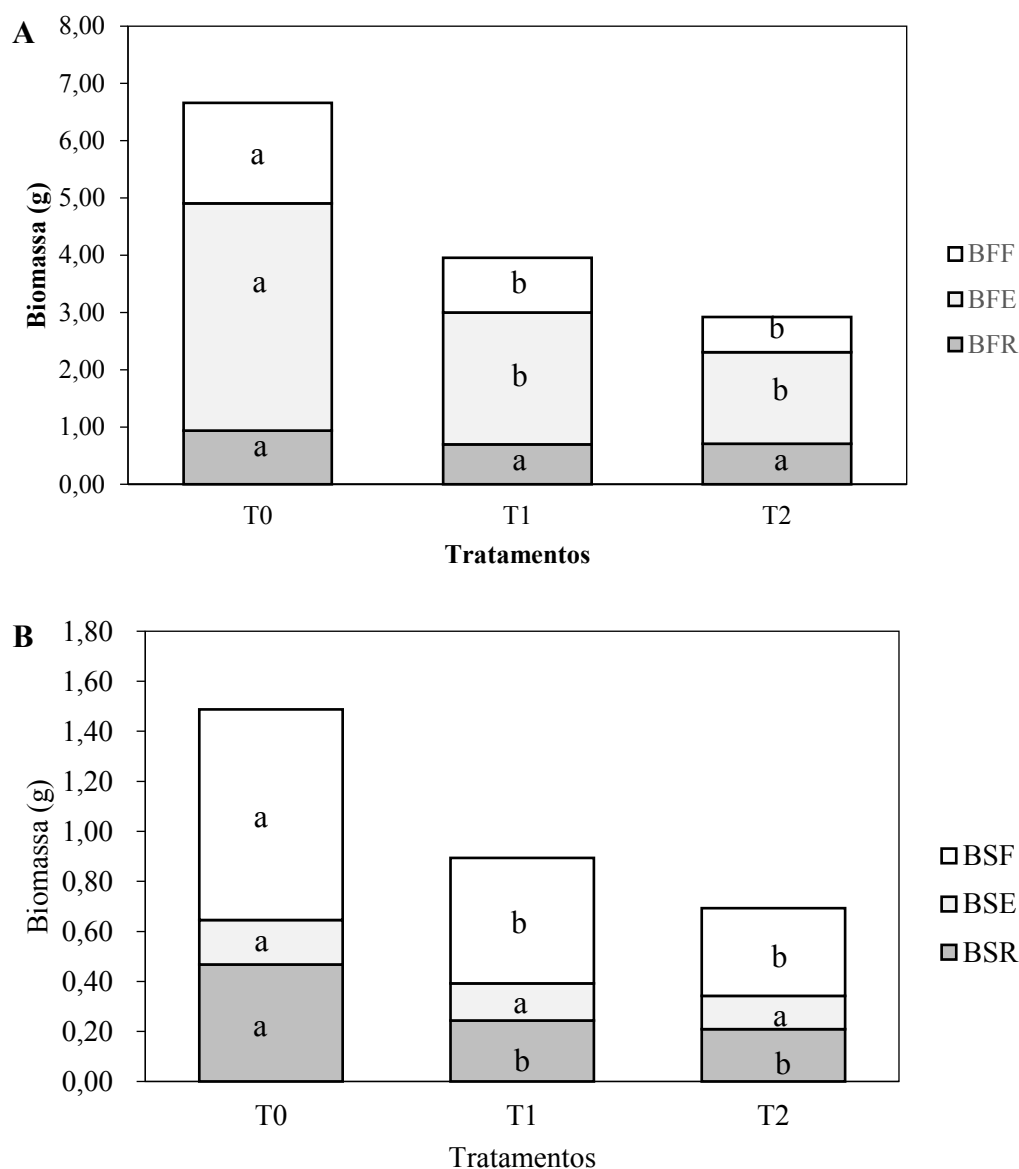


**Figura 9.** Comparação das médias das variáveis morfológicas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. ex Mart., obtido pelo teste de Tukey a 5% de significância **A.** Altura da parte aérea (broto) e comprimento da raiz; **B.** Diâmetro do estipe e **C.** Número de folhas, para 3 tratamentos: **T0:** Duas irrigações por dia, durante 90 dias; **T1:** Uma irrigação por dia, iniciando 45 dias após a semeadura; **T2:** Uma irrigação por dia, a partir dos 30 dias após a semeadura. Letras iguais indicam uma falta de diferença significativa com base no teste de Tukey.

### **3.2. Análise de Produção de Biomassa**

A frequência de irrigação afetou as plântulas de Macaúba em termos de produção de biomassa. A produção de biomassa diferiu na comparação dos tratamentos 1 e 2 com o controle. A biomassa fresca da folha (BFF) apresentou diferença significativa entre os tratamentos (ANOVA:  $F = 13,0246$ ;  $p < 0,01$ ), resultando em menores valores de BFF para os tratamentos em relação ao controle (Figura 10A). A BFF para os tratamentos comparados ao controle foi de 46 % para T1 e 65 % para T2. Em relação à biomassa fresca de estipe (BFE) (ANOVA:  $F = 12,4703$ ;  $p < 0,01$ ), os tratamentos T1 e T2 apresentaram diferença significativa em relação ao tratamento testemunha. No entanto, a biomassa fresca das raízes (BFR) (ANOVA:  $F = 1,0078$ ;  $p > 0,05$ ) não foi afetada pela variação na frequência de irrigação.

O acúmulo de biomassa foliar seca (BSF) nas mudas de macaúba foi afetado pela frequência de irrigação no início da fase de plântula (ANOVA:  $F = 13,3450$ ;  $p < 0,01$ ). A média da BSF para o tratamento que recebeu a maior quantidade de água (testemunha) durante os 90 dias foi maior quando comparada à média da BSF dos demais tratamentos (Figura 10B).



**Figura 10.** Produção de A. Biomassa Fresca da Folha, estipe e raiz e B. Biomassa Seca de folhas, estipe e raízes de plântulas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. ex Mart, para os três tratamentos aplicados: **T0**: Duas irrigações por dia, durante 90 dias; **T1**: Uma irrigação por dia, com início aos 45 dias após a sementeira; **T2**: Uma irrigação por dia, a partir dos 30 dias após sementeira. **BFF**: biomassa de folhas frescas; **BFE**: biomassa de estipe fresco; **BFR**: biomassa de raízes frescas; **BSF**: biomassa seca de folhas; **BSE**: biomassa seca do estipe; **BSR**: Biomassa de raízes secas.

Da mesma forma, os resultados da biomassa seca da raiz (BSR) variaram entre os dois tratamentos, com T1 45 % e T2 55 % menor em relação ao controle. Por outro lado, a biomassa seca do estipe (BSE) (ANOVA:  $F = 2,976$ ;  $p > 0,05$ ) não foi afetada pelas diferentes estratégias de irrigação.



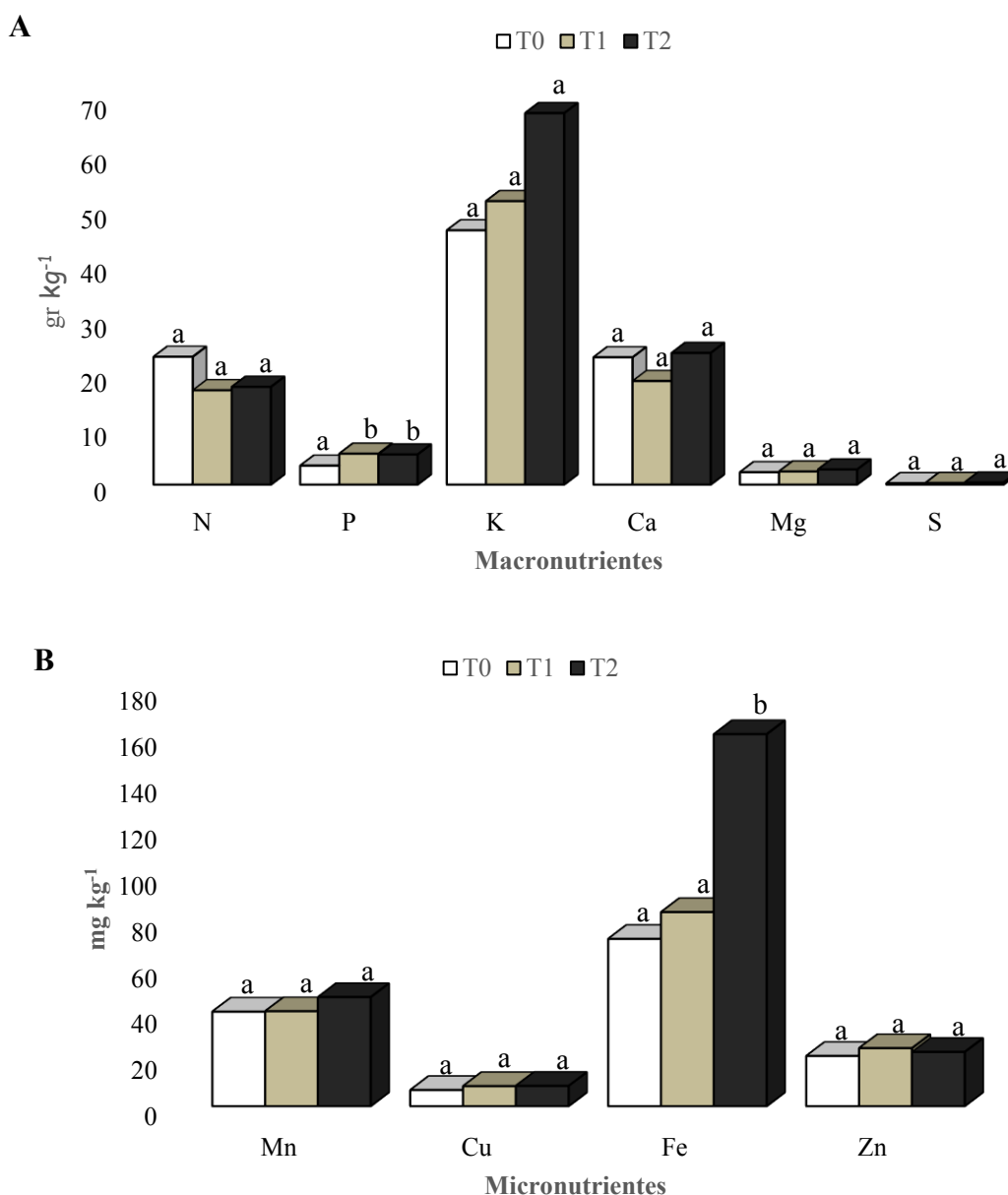
### 3.3. Análise foliar

Os teores de N, K, Ca, Mg e S não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (ANOVA:  $F = 0,2834, 2,8936, 0,3722, 0,7524, 1,6871$ ; respectivamente,  $p > 0,05$ ), (Figura 11A). O teor de P apresentou diferença significativa entre os tratamentos (ANOVA:  $F = 10,0958$ ;  $p < 0,01$ ), sendo a concentração de P nas folhas das plântulas submetidas ao estresse hídrico maior para T1 e T2 ( $5,66$  e  $5,52 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente) em relação ao tratamento testemunha ( $3,47 \text{ g kg}^{-1}$ ).

O teor de micronutrientes Mn, Cu e Zn não resultou em diferenças significativas (ANOVA:  $F = 1,6871, 0,4904, 0,7509, 1,1886$ , respectivamente,  $p > 0,05$ ). O teor de Fe foi significativamente diferente para o T1 e o T2 (Figura 11B).

Mudas que foram submetidas ao nível mais elevado de estresse hídrico apresentaram maior teor de Fe. O T2 apresentou aumento do teor de Fe 122 % em relação à testemunha. Já o T1 apresentou teor de Fe de  $84,15 \text{ mg kg}^{-1}$ , um aumento de 16 % em relação à testemunha.

Durante os primeiros 90 dias após a semeadura, o suprimento de água é essencial, pois o alongamento celular depende da absorção de água pelas plantas. Isso pode explicar a relação linear observada entre a redução na frequência de irrigação e o menor crescimento das partes aéreas de plântulas.



**Figura 11.** Níveis de **A.** macronutrientes e **B.** micronutrientes no tecido da muda de plântulas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. ex Mart., para os três tratamentos: **T0**: Duas irrigações por dia, durante 90 dias; **T1**: Uma irrigação por dia, com início aos 45 dias após a semeadura; **T2**: Uma irrigação por dia, a partir dos 30 dias após a semeadura.

Utilizaram-se os valores de referência relatados por Pimentel (2016), que descreveram o teor de nutrientes das plântulas de macaúba de 6 meses de idade (Tabela 1). Ao observar os valores de referência, notou-se que os macronutrientes nas mudas dos tratamentos T0, T1 e T2 apresentaram deficiências para N, Mg e S. Em relação aos micronutrientes, observou-se que as plântulas de todos os tratamentos apresentaram deficiência de Mn e Fe, bem como excesso de Cu e Zn. Os valores de Mn foram semelhantes para todos os tratamentos; no

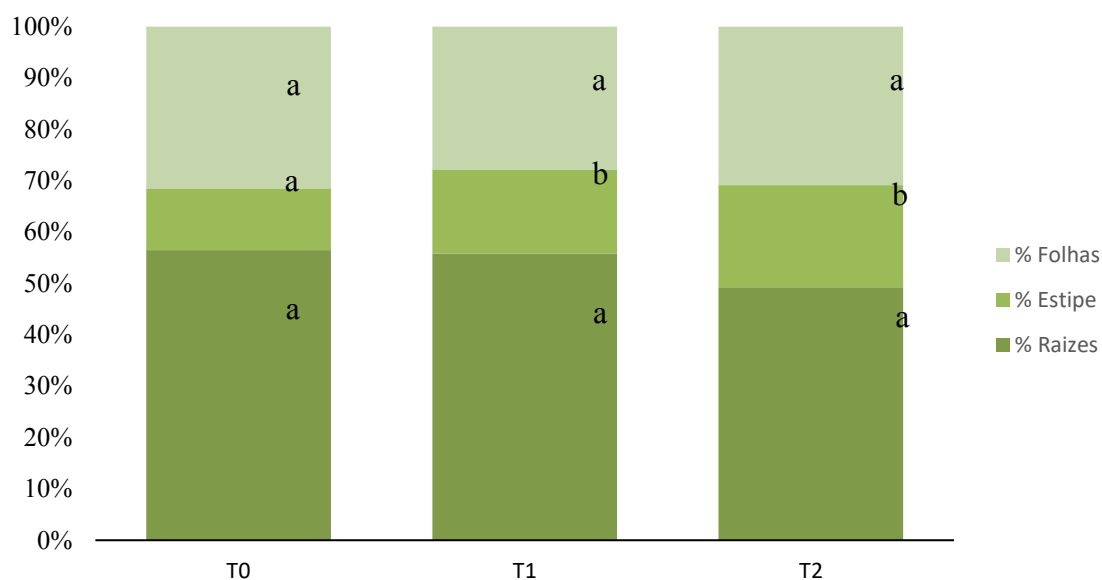
entanto, a deficiência de Fe foi maior no tratamento T0. A absorção de Fe e Mn está ligada à presença de P na planta, que é responsável pelo movimento de alguns macronutrientes, como os metais, como visto para o T2: a quantidade de Fe e Mn foi diretamente correlacionada à quantidade de fósforo presente.

**Tabela 1.** Comparação de macro e micronutrientes nas folhas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. ex Mart., para 6 meses de idade no viveiro conforme relatado por Pimentel (2016) com respeito aos tratamentos aplicados no presente trabalho. **T0:** Duas irrigações por dia, durante 90 dias; **T1:** Uma irrigação por dia, com início aos 45 dias após a semeadura; **T2:** Uma irrigação por dia, a partir dos 30 dias após a semeadura.

	<b>Pimentel (2016)</b>	<b>T0</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>
	$\text{g kg}^{-1}$			
<b>N</b>	32,30	23,40	17,28	17,90
<b>P</b>	2,20	3,47	5,66	5,52
<b>K</b>	20,40	46,56	51,91	68,02
<b>Ca</b>	14,90	23,31	18,97	24,11
<b>Mg</b>	4,40	2,27	2,40	2,77
<b>S</b>	2,30	0,26	0,31	0,37
	$\text{mg kg}^{-1}$			
<b>Mn</b>	98,00	40,97	41,14	47,28
<b>Cu</b>	3,00	6,98	8,67	8,77
<b>Fe</b>	296,00	72,54	84,15	161,31
<b>Zn</b>	20,00	21,75	25,12	23,49

As respostas fisiológicas das plântulas expostas ao estresse hídrico tornaram-se mais evidentes quando a partição dos fotoassimilados foi avaliada. Não houve diferença significativa quanto ao acúmulo de fotoassimilados nas folhas e raízes. Entretanto, houve diferença significativa entre os tratamentos em relação ao acúmulo de fotoassimilados no estipe: o acúmulo de fotoassimilados no estipe foi menor no tratamento controle (Figura 12). Estes resultados sugerem que as plântulas submetidas a estresse hídrico apresentaram maior eficiência no uso da água e acumularam mais fotoassimilados em seus estipes. Esses

resultados são semelhantes aos relatados por Barleto (2011), que mostraram que plântulas de Macaúba com estresse hídrico tiveram melhor controle estomático e redução da transpiração foliar. Isso pode explicar o aumento do acúmulo de fotoassimilados nas hastes das plântulas sob estresse hídrico. No T2, todas as partes da planta acumularam matéria seca ao longo do ciclo de crescimento das mudas, indicando que as mudas de macaúba foram capazes de crescer adequadamente sob condições de estresse hídrico.



**Figura 12.** Particionamento de fotoassimilados em folhas, estipe e raízes de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. ex Mart., no final dos três tratamentos: **T0**: Duas irrigações por dia, durante 90 dias; **T1**: Uma irrigação por dia, com início aos 45 dias após a semeadura; **T2**: Uma irrigação por dia, a partir dos 30 dias após a sementeira.

## 4. DISCUSSÃO

As diferenças observadas para a biomassa fresca da parte aérea (BFF e BFC) deve-se a que a água compõe grande parte da massa de folhas jovens, já que maiores quantidades de água favorecem a abertura estomática permitindo maior assimilação líquida de CO<sub>2</sub> e por consequência aumento na produção de folhas e na área foliar destas. Taiz e Zeiger (2004) afirmam que 90 % da massa é composta pela quantidade de água ministrada ao longo do ciclo de desenvolvimento das plantas, e que esta distribuição influencia diretamente no metabolismo vegetal e no transporte de nutrientes dentro da planta.

Os resultados encontrados durante este experimento concordam com os de Alvarenga (2011), concluindo que a Macaúba possui um forte controle estomático da transpiração foliar em condições de estresse hídrico, o que consequentemente permite maior eficiência no uso da água. Concluiu ainda que a capacidade fotossintética via absorção de CO<sub>2</sub> diminui com a falta de água, afetando diretamente a concentração de nitrogênio, a produção de folhas e o comprimento da lâmina foliar. Essa habilidade indica uma taxa de sobrevivência potencialmente maior durante a produção de campo.

Em plantas sob estresse hídrico, sabe-se que a concentração de ácido abscísico (ABA, conhecido também como o ácido do estresse hídrico) aumenta, causando fechamento estomático e diminuição do acúmulo de matéria seca nas partes aéreas da planta. Este hormônio está relacionado a mudanças fisiológicas e morfológicas nas plantas que são submetidas a estresse hídrico, assim como também o etileno. Em plantas estressadas por falta de água as concentrações de ABA aumentam causando o fechamento estomático e estimulando o crescimento das raízes, fazendo com que a plantas concentrem os fotoassimilados na produção de raízes e não na produção de parte aérea (SHARP, 2002). Isto sugere que a irrigação distribuída pode afetar positivamente o acúmulo de carbono nas folhas quando comparado a uma única irrigação (as quantidades totais sendo iguais). Similarmente, é possível que a disponibilidade mais uniforme da água melhoraria a fixação de carbono nas mudas, resultando em um maior acúmulo de biomassa.

As diferenças observadas em biomassa fresca de folha (BFF) e biomassa de estipe fresco (BFE) são devidas ao fato de que a água compõe uma grande parte da massa de folhas jovens.

O estresse hídrico ao qual as mudas do T2 foram submetidas diminuiu

significativamente a taxa de crescimento de todas as partes das mudas. Este resultado concorda com os resultados de Chaves, Flexas e Pinheiro (2009), que afirmaram que um dos principais processos afetados pelo estresse hídrico é a taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, o que reduz o crescimento e acúmulo de matéria seca como resultado de menor condutância estomática e transpiração da planta. À medida que o conteúdo de água dentro de uma planta diminui, as células tendem a encolher, devido à perda de turgidez, o qual é o primeiro efeito biofísico que as plantas apresentam quando são submetidas a estresse hídrico. Este efeito retarda o crescimento celular, já que este é dependente da turgidez. Entretanto, para o T2 todos os órgãos vegetais acumularam matéria seca durante todo o ciclo de crescimento das mudas, sendo isto um indicador do desempenho das mudas de Macaúba sob condições de estresse hídrico, conseguindo fazer uma boa distribuição dos fotoassimilados para se manter viva. Esta habilidade indica maior possibilidade de sobrevivência no campo. O resultado indica que a diminuição no suprimento de água influencia diretamente nas células, enfraquecendo tanto o processo fotossintético quanto o processo respiratório.

A redução no crescimento de mudas cultivadas sob estresse hídrico pode ser explicada pela menor disponibilidade de água necessária para a expansão celular. Assim, poderia ser considerada uma estratégia de sobrevivência da planta para reduzir a área superficial específica exposta à transpiração e, como resultado, distribuiria uma porção maior de fotoassimilados para o crescimento das raízes (Taiz & Zeiger, 2009). A absorção de CO<sub>2</sub> e a taxa de fotossíntese diminuíram sob condições de estresse hídrico, o que afetaria diretamente a concentração de nitrogênio, a produção de folhas e o comprimento da lâmina foliar.

Em um estudo que investigou o impacto do estresse hídrico no dendê, Rivera-Mendes (2016) constataram que há uma redução significativa na absorção de alguns macronutrientes, em particular N, e que isso está relacionado com a troca gasosa já que o estresse hídrico dificulta o metabolismo das plantas, causando o fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, a redução das taxas de transpiração e fotossíntese. Isso limitaria o transporte de nutrientes, particularmente do nitrogênio e, finalmente, reduziria a produção de matéria seca. Observou-se que a diferença no conteúdo de N no T1 e T2 foi menor entre cada um desses dois tratamentos em comparação com a diferença entre cada um desses dois tratamentos e o controle.

Ao comparar o teor de nutrientes de cada tratamento com os valores de referência (Pimentel, 2016), observou-se que as mudas nos tratamentos T0, T1 e T2 apresentaram deficiências para N, Mg e S. Entretanto, o tratamento que apresentou a menor diferença aos

de referência foi o T0. O teor de N foi maior nas plântulas com alta disponibilidade hídrica (T0), indicando que a redução no número de irrigações afetou a captação e assimilação de N pelas raízes. Ao comparar os valores de N com a literatura, foi encontrado que a média do teor em T0 encontra-se próximo aos valores encontrados por Barleto (2011), para quem, em condições de boa disponibilidade de água, encontrou teores médios de N foliar entre 25,4 e 28,1 g kg<sup>-1</sup>. O teor de N maior que o T1 e T2 confirma os resultados obtidos na análise de produção de biomassa, onde o T0 apresentou os melhores resultados tanto na biomassa fresca quanto na biomassa seca da parte aérea, o qual deve-se, provavelmente, à influência da disponibilidade de água. Entenda-se que em presença de melhores condições hídricas, os teores de N serão mais altos, visto que existe uma influência direta da disponibilidade hídrica sobre a absorção de nutrientes. Este resultado concorda com o relatado por Carvalho et al., (2007), que relacionaram maiores teores deste nutriente em parcelas irrigadas em comparação com parcelas não irrigadas. Entretanto, é preciso considerar que plantas jovens tendem a apresentarem teores mais elevados de nutrientes móveis quando comparadas às plantas adultas (MARSCHNER, 1995).

Os valores de K e Ca excederam os valores considerados ótimos por Pimentel (2016) para todos os tratamentos. Isso pode ser devido à alta demanda por esses nutrientes durante a fase de plântulas, uma vez que esses nutrientes impactam no controle estomático, que regula a quantidade de água no interior das cavidades estomáticas e o alongamento celular (PIMENTEL, 2012). Maiores quantidades de K e Ca foram encontradas nas mudas com a menor frequência de irrigação.

Considerando que o P nas plantas é utilizado como fonte de energia, parece plausível que a quantidade de P absorvida pelas plântulas que receberam mais água (T0) foi utilizada para a posterior absorção e assimilação do N que mais tarde se acumulou como biomassa seca nas plantas. Em mudas cultivadas sob estresse hídrico, o P foi mantido nos órgãos devido à falta de água para transportá-lo. Isso explica as altas concentrações de P nas folhas que foram submetidas ao estresse hídrico, uma vez que isso diminui a absorção de nutrientes pelas plantas porque os íons só podem ser transportados das raízes para o estipe e os brotos pela água (NOVAIS, BARROS, & NEVES, 1990).

A alteração da irrigação em *Acrocomia aculeata* induz estresse que provocou mudanças em sua fisiologia e, conseqüentemente, em sua morfologia, o que possibilita obter plantas com características desejáveis para altas produções futuras. O estudo do comportamento desta espécie em condições de estresse hídrico fornece uma visão sobre os locais onde ela pode ser

produzida, pois é uma planta rústica, como foi apresentada neste trabalho, permitindo adaptar-se bem em condições de déficit hídrico por causa da alta taxa de sobrevivência. Além disso, essas mudanças fornecem informações sobre o manejo adequado das mudas de Macaúba em condições de pré-viveiro e que têm impacto direto nos valores econômicos investidos na produção dessa cultura.

É necessário continuar o estudo da capacidade de recuperação da *Acrocomia aculeata* quando outros fatores ambientais são alterados.



## 5. CONCLUSÕES

✓ Mudanças de Macaúba cultivadas sob estresse hídrico apresentaram alterações específicas nas características morfológicas: redução de partes aéreas, espessura de colmos e biomassa fresca e seca das folhas.

✓ O acúmulo de fotoassimilados foi mais eficiente em plantas sob estresse hídrico (T2: uma irrigação por dia, a partir de 30 dias após a semeadura), mostrando uma distribuição de fotoassimilados mais semelhante ao tratamento controle (T0: Duas irrigações por dia durante todo o período de 90- dia experimental).

✓ O aumento do teor de K, Ca, S e Fe nas partes aéreas foi observado na menor frequência de irrigação (T2). O conteúdo reduzido de P nas partes aéreas das plantas foi observado nas mudas que foram irrigadas duas vezes ao dia (T0).

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AZEVEDO FILHO, J. A., COLOMBO, C. A., & BERTON, L. H. C. (2012). Macaúba: palmeira nativa como opção bioenergética. *Pesquisa & Tecnologia*, 9(2). Retrieved from [http://www.aptaregional.sp.gov.br/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=1275&Itemid=284](http://www.aptaregional.sp.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=1275&Itemid=284)

BARLETO, E. A. (2011). **Respostas Ecofisiológicas de *Acrocomia aculeata* (Jacquin) Loddies ex Martius ao déficit hídrico sazonal e à disponibilidade de nutrientes.** Universidade de Brasília.

BERTON, L. H. C. (2013). Avaliação de Populações Naturais, estimativas de parametros genéticos e seleção de genótipos elite de Macaúba (*Acrocomia aculeata*). **Instituto Agrônômico.**

CARVALHO, A. N. A. P. F., BUSTAMANTE, M. M. C., & KOZOVITS, A. R. (2007). Variações sazonais nas concentrações de pigmentos e nutrientes em folhas de espécies de cerrado com diferentes estratégias fenológicas. *Brasil Botanica*, 30(1), 19–27.

CHAVES, M. M., FLEXAS, J., & PINHEIRO, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress : regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, (103), 551–560. <http://doi.org/10.1093/aob/mcn125>

EVARISTO, A. B., MARTINO, D. C., FERRAREZ, A. H., DONATO, D. B., CARNEIRO, A. DE C. O., & GROSSI, J. A. S. (2016). Potencial energético dos resíduos do fruto da Macaúba e sua utilização na produção de carvão vegetal. *Ciencia Florestal*, 26(2), 571–577. <http://doi.org/10.5902/1980509822757>

FISHER, R. A. (1935). The Design of Experiments. *Hafner Publishing Company*. <http://doi.org/n/aHiane>, P. A., Baldasso, P. A., Marangoni, S., & Macedo, M. L. R. (2006). Chemical and Nutritional Evaluation of Kernels of Bocaiuva *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood. *Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas*, 26(3), 683–689. <http://doi.org/10.1590/S0101-20612006000300031>

IWASAKI, M.; PASZKOWSKI, J. (2014). Epigenetic memory in plants. *The EMBO journal*, 33 (18): 1987-1998.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2nd. ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MALAVOLTA, E. ; VITTI, G. C. & OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed.,rev. e atual., Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319p

MARTINS, R. F. (2011). **Diferentes ambientes protegidos e substratos para a formação de mudas bocaiúva, a partir de sementes pré-germinadas.** Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso do Sul.

MOTOIKE, S. Y., CARVALHO, M., PIMENTEL, L. D., KUKI, K. N., PAES, J. M. V., DIAS, H. C. T., & SATO, A. Y. (2013). A cultura da Macaúba: implantação e manejo de cultivos racionais. **Viçosa: Editora UFV**.

NOVAIS, R. F., BARROS, N. F. DE, & NEVES, J. C. L. (1990). Nutrição mineral do eucalipto. In *Relação solo-eucalipto* (Vol. 1, pp. 25–91). Viçosa, MG: Folha de Viçosa.

PIMENTEL, L. D. et al. Substrate, lime, phosphorus and topdress fertilization in macau palm seedling production. **Revista Árvore**, v. 40, n. 2, p. 235–244, 2016.

RIVERA-MENDES, Y. D., CUENCA, J. C., & ROMERO, H. M. (2016). Physiological responses of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings under different water soil conditions. *Respuestas fisiológicas de plántulas de palma de aceite Elaeis*, 34(2), 163–171. <http://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n2.55568>

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J. ., & CHUBA, C. A. M. . (2011). Biometrical, physical and chemical characterization of bocaiuva (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) lodd. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 33(3), 1023–1028. <http://doi.org/10.1590/S0100-29452011000300040>

SANTOS, A. C. R. DOS, AZEVEDO, R. A. DE, VIRGINIO JÚNIOR, G. F., RODRIGUEZ, N. M., DUARTE, E. R., GERASEEV, L. C., ... GERASEEV, L. C. (2017). Effects of macauba cake on profile of rumen protozoa of lambs. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 46(3), 251–256. <http://doi.org/10.1590/s1806-92902017000300010>

SHARP, R. E. (2002). Interaction with ethylene : changing views on the role of abscisic acid in root and shoot growth responses to water stress. **Plant, Cell and Environment**, 25, 211–222.

SIQUEIRA, P. B. (2012). **Caracterização Bioquímica e Compostos Bioativos de Macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.). UNICAMP.**

TAIZ, L.; ZEIGER, E. (2004). **Fisiologia vegetal**. Tradução Eliane Romanato Santarém et al. (3.ed.) Porto Alegre: Artmed, 719p

TAIZ, L., & ZEIGER, E. (2009). **Fisiologia Vegetal** (4. ed.). Artmed.

TATAGIBA, S. D. et al. Trocas gasosas e potencial da água em clones de eucalipto submetidos ao déficit hídrico. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 15, n. 3, p. 212- 227, 2007

TEIXEIRA, L. A. F. (2012). **Influência da rustificação no comportamento fisiológico de mudas de *Eucalyptus urograndis* submetidas ao déficit hídrico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Lavras- Minas Gerais, Universidade Federal de Lavras: UFLA, 47p.

TUKEY, W. J. (1953). The Problem of Multiple Comparisons. *Multiple Comparisons*. Chapman & Hall. Encontrado em <http://ci.nii.ac.jp/naid/10030867280/en/>

**CAPITULO II – ALTERAÇÕES MORFOLOGICAS E FISIOLÓGICAS  
DE MUDAS DE MACAÚBA SUBMETIDAS A VARIAÇÃO DE  
RADIAÇÃO SOLAR EM FASE DE PRODUÇÃO PRÉ-VIVEIRO E  
VIVEIRO.**

## 1. INTRODUÇÃO

O microclima criado em ambientes protegidos durante a produção de mudas permite melhorar a qualidade das plantas e a obter maior uniformidade destas, já que auxilia no controle dos elementos meteorológicos como a temperatura, umidade do ar, luminosidade, vento e composição atmosférica, os quais tem um efeito direto no crescimento e desenvolvimento das plantas (ROMANINI *et al*, 2010).

Existe um forte relação entre a incidência da radiação solar e o incremento da temperatura dentro do ambiente protegido (REBOUÇAS, *et al.*, 2015). Da mesma forma, existe um relação direta entre a intensidade da radiação solar e a temperatura no desenvolvimento e produção dos cultivos, devido a que a alta irradiância pode causar aumento da produção dos fotoassimilados e com isso aumento da disponibilidade destes para o crescimento da planta. No entanto, a incidência excessiva da radiação solar nas plantas pode causar aumento da taxa transpiratória, produzindo diminuição da fotossíntese (ANDRIOLO, 2000). A radiação solar diária tem um efeito direto sobre a temperatura dentro e fora do ambiente controlado. A radiação solar atravessa o material de plástico da estrutura de produção de mudas, fazendo com que as plantas absorvam radiação de comprimento de onda curta e emitam radiação de comprimento de onda longa, também conhecida como radiação de calor ou infravermelho. Esses raios infravermelhos não passam pelo material de vidro do ambiente controlado e, portanto, ficam presos dentro da estufa, aumentando a temperatura interna.

Na maioria de espécies florestais, a produção de mudas é realizada em ambiente protegido, permitindo manter um controle dos elementos meteorológicos e assim potencializar o efeito destes no desenvolvimento das plantas. Com isso, é possível produzir plantas o ano inteiro sob o mesmo microclima, embora no exterior a temperatura possa variar com as estações climatológicas. Apesar disso, as plantas tornam-se sensíveis à radiação solar direta, podendo causar danos irreversíveis nas plantas se transplantadas a campo sem previa aclimação, com isso se faz necessário preparar a muda para melhorar a adaptação em condições de radiação solar direta e elevada temperatura, para o qual é utilizado um processo de rustificação.

Com o interesse mundial de aumentar a produção de óleos vegetais e encontrar novas fontes de energia renovável, várias espécies tem entrado na economia global como opções para a obtenção destes produtos, dando destaque para a macaúba, a qual vem sendo cultivada

no cerrado brasileiro demonstrando um grande potencial produtivo.

Na produção comercial de mudas de macaúba, algumas dificuldades estão sendo enfrentadas, dentre estas temos o amarelecimento das folhas e reduzidas taxas de crescimento após o transplante. Em alguns casos, o choque do transplante foi muito grave e as plantas morreram. Em razão das características dos sintomas das plantas e considerando que estas receberam a quantidade de água adequada e uma adubação nutricional conforme as necessidades das mudas, considerou-se que a causa dos sintomas poderia dever-se à falta de um processo acurado de rustificação que permita diminuir os efeitos da radiação solar direta.

Especificamente, a hipótese planteada consistiu em que a rustificação adequada das plantas especialmente a adaptação ao aumento das condições de luz poderia melhorar a taxa de estabelecimento de plântulas de macaúba após o transplante. Pesquisas anteriores como a de Atroch *et al.*, (2001) mostraram que tais mudanças nas condições de luz podem resultar em diferentes respostas fisiológicas e de crescimento. Estas respostas estão intimamente ligadas à fotossíntese e ao desenvolvimento das plantas (ANDRIOLO *et al.*, 2004). No entanto, há informações limitadas sobre a estratégia ótima de rustificação para mudas de macaúba, como evidenciado pelas frequentes baixas taxas de estabelecimento em plantios comerciais.

Assim, os objetivos deste trabalho foram avaliar as características fisiológicas e morfológicas de mudas de macaúba cultivadas sob diferentes condições de luminosidade em ambiente protegido e avaliar o desenvolvimento de plantas após oito meses consecutivos de crescimento em viveiro a pleno sol.

## **2. MATERIAL E METODOS**

### **2.1. Procedimentos Experimentais**

As sementes pré-germinadas foram colocadas em tubetes de papel biodegradável, com dimensões de 100 mm de altura e 50 mm de diâmetro, os quais continham o substrato Plantmax e foram acondicionados em bandejas de plástico com capacidade para 96 tubetes.

Durante o experimento as mudas foram colocadas dentro do ambiente controlado sob as mesmas condições de luminosidade (sombrite de 50 %), umidade, temperatura e fotoperíodo por um período que variou dependendo de cada tratamento aplicado, sendo que o tratamento mais precoce começou aos 30 dias.

Considerando que o tempo de produção de mudas é de 90 dias dentro de ambiente controlado, a primeira análise e coleta de dados foi realizada aos 90 dias. Todos os tratamentos foram avaliados nesta idade com exceção de um deles no qual foi estabelecido um protocolo de rustificação mais longo, finalizando aos 120 dias. Foram tomadas duas mudas por bloco, totalizando 8 mudas por tratamento. Após os 90 dias em pré-viveiro e a primeira análise, as mudas foram levadas para o viveiro a pleno sol.

A segunda análise foi realizada aos 8 meses das mudas estarem em viveiro a pleno sol, sendo tomadas um total de 5 mudas por tratamento. Para determinar qual o melhor protocolo para o rustificação de mudas de Macaúba foi feita análise das características morfológicas na mudança de estágio do viveiro para o campo. Foram analisadas 13 variáveis morfológicas (diâmetro do estipe, comprimento da parte aérea e raiz e peso da matéria fresca e seca das folhas, estipe, raiz e bulbo e distribuição dos assimilados).

### **2.2. Tratamentos**

Inicialmente as sementes foram colocadas sob as mesmas condições de sombreamento. O sombreamento usado durante o experimento foi de 25, 50 e 75 % de passagem de irradiância. O ambiente controlado possui seu próprio sombreamento, no entanto, em razão de ser usado só uma porção da estufa, a área experimental foi coberta com um sombrite preto com dimensões de 4 m<sup>2</sup> (2 x 2 m).

Os protocolos usados durante este experimento tiveram variação com respeito ao sombreamento utilizado na produção de mudas, como segue:

a. **T0** = Tratamento testemunha, seguindo o protocolo padrão de rustificação por radiação solar implementado pela empresa *Acrotech Sementes e Reflorestamento*: Sombríte de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas.

b. **T1** = Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição a radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas,

c. **T2** = Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 50 dias e logo exposição a radiação solar direta depois de transplantadas,

d. **T3** = Sombríte de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas,

e. **T4** = Sombríte de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombríte durante 30 dias.

### **2.3. Modelo Estatístico**

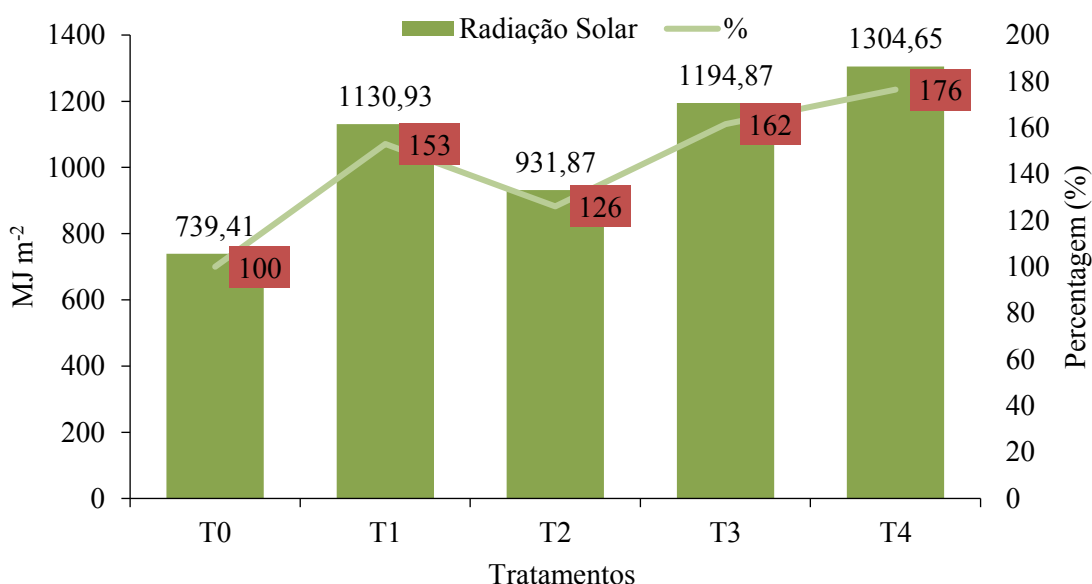
O experimento foi conduzido utilizando um Delineamento com Blocos Casualizados (DBC). Foram utilizados 5 tratamentos distribuídos em 4 blocos, totalizando 240 mudas, 10 plantas por parcela em 24 unidades experimentais.

Para verificar se existia diferença entre as populações dos tratamentos foi realizado análise de variância ao nível de probabilidade de 5 e 1 % pelo quociente entre a maior e a menor variância.



### 3. RESULTADOS

Cada tratamento utilizou diferentes quantidades de radiação solar acumulada durante o tempo experimental, como é apresentado na Figura 13. O tratamento controle foi usado como referência em 100 % da radiação solar recebida, a partir daí foi calculado o percentual de radiação solar recebida nas plantas nos outros tratamentos.



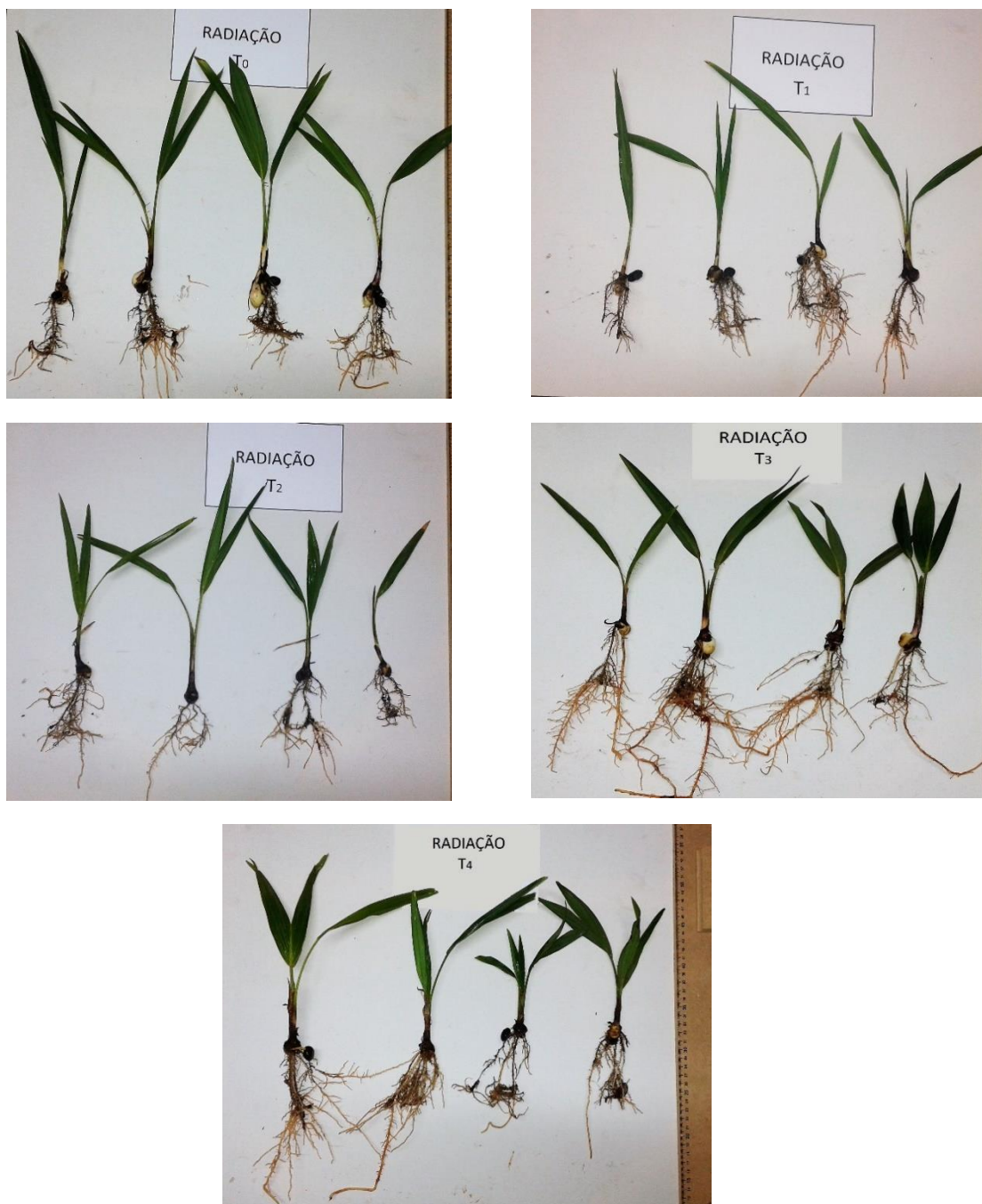
**Figura 13.** Quantidade acumulada de radiação solar expressa em MJ m<sup>-2</sup> por tratamento aplicado durante o experimento e os respectivos percentuais em referência ao tratamento testemunha. **T0** – Tratamento testemunha: Sombrite de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1** - Tratamento 1: Sombrite de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T2** - Tratamento 2: Sombrite de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombrite de 25 % durante os seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3** - Tratamento 3: Sombrite de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombrite de 25 % durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4** - Tratamento 4: Sombrite de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombrite de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombrite durante 30 dias.

#### 3.1. Estádio de Pré-Viveiro

Os resultados obtidos no pré-viveiro não demonstraram diferenças estatísticas entre os tratamentos em 11 das 12 variáveis estudadas neste experimento. Por sua parte, a partição de

assimilados na raiz apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos aplicados.

As plantas tomadas para a análise de cada tratamento são mostradas na Figura 14.



**Figura 14.** Foto das mudas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart utilizadas como amostras nas análises morfológicas e fisiológicas ao final do estágio de pré-viveiro. **T0 – Tratamento testemunha:** Sombríte de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1 - Tratamento 1:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T2 - Tratamento 2:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os

seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3** - Tratamento 3: Sombrite de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombrite de 25 durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4** - Tratamento 4: Sombrite de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombrite de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombrite durante 30 dias.

Estes resultados sugerem que os protocolos utilizados para variar a exposição à radiação solar de mudas de macaúba em pré-viveiro e sob as condições ambientais no interior da ambiente controlado não causaram alterações suficiente para ocasionar mudanças no desenvolvimento das mudas para a maioria das variáveis estudadas.

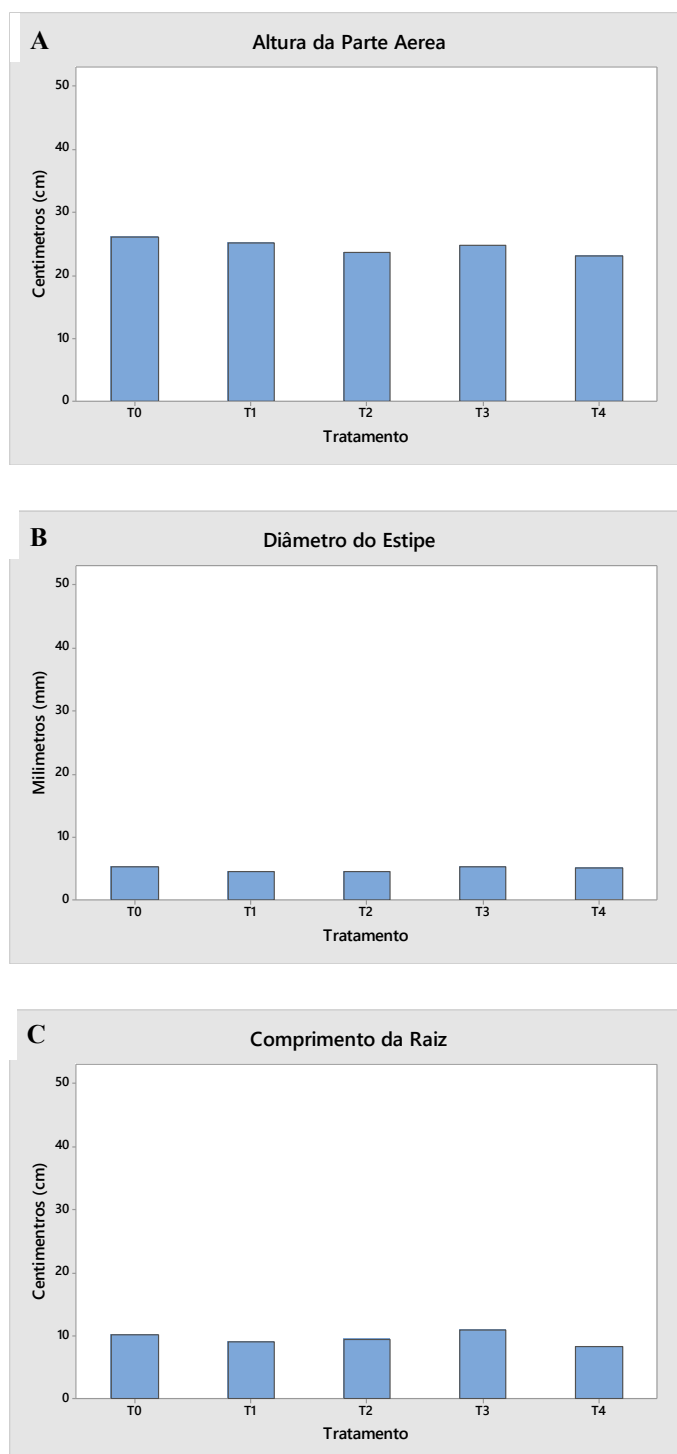
### 3.1.1. Análise Morfológicas

As análises estatísticas para altura da parte aérea, diâmetro do estipe e comprimento de raiz também não apresentaram diferenças entre os tratamentos. Isto indica as variações da radiação utilizadas nesse experimento não causaram efeitos significativos até os 90 dias em que foram avaliadas (Tabela 2).

**Tabela 2.** Significância da comparação de médias pelo teste Tukey em 95 % de probabilidade no crescimento de Parte aérea, Diâmetro do estipe e Comprimento de raiz em mudas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart., aos 90 dias de idade, submetidas a 5 protocolos de rustificação por radiação em estádio de pré-viveiro. **T0 – Tratamento testemunha:** Sombrite de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1** - Tratamento 1: Sombrite de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T2** - Tratamento 2: Sombrite de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombrite de 25 % durante os seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3** - Tratamento 3: Sombrite de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombrite de 25 durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4** - Tratamento 4: Sombrite de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombrite de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombrite durante 30 dias.

Tratamento	Altura da Parte Aérea		Diâmetro do Estipe		Comprimento da Raíz	
T0	25.9750	A	5.3000	A	10.0625	A
T1	25.0375	A	4.5875	A	9.0375	A
T2	23.6000	A	4.4750	A	9.3375	A
T3	24.6500	A	5.2000	A	10.8250	A
T4	23.1000	A	5.0375	A	8.1875	A

Os resultados das variáveis morfológicas são apresentados nas Figuras 15A, 15B e 15C.



**Figura 15.** Média das variáveis morfológicas **A.** Altura da parte aérea, **B.** diâmetro do estipe e **C.** Comprimento da raiz em mudas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart., sob diferentes protocolos de irradiância em estágio pré-viveiro utilizando o modelo de Tukey em 95 % de probabilidade para 5 tratamentos aplicados. **T0 – Tratamento testemunha:** Sombríte de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1** - Tratamento 1: Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e

radiação solar direta depois de transplantadas; **T2** - Tratamento 2: Sombrite de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombrite de 25 % durante os seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3** - Tratamento 3: Sombrite de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombrite de 25 durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4** - Tratamento 4: Sombrite de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombrite de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombrite durante 30 dias.

Na Figura 16A, é possível observar a variação entre os tratamentos para altura da parte aérea. As mudas no tratamento testemunha (T0) apresentaram o maior crescimento da parte aérea com média de 25,97 cm. Os demais tratamentos, que apresentaram valores de 25,03, 24,65, 23,60 e 23,10 cm para T0, T1, T3, T2 e T4, respectivamente. Os resultados indicam que as mudas submetidas a tratamento com 25 % de sombreamento após 40 e 45 dias, para T2 e T4, respectivamente, apresentaram a menor altura de brotação. Ao mesmo tempo, este resultado sugere que expor as mudas a 75 % da luz solar após 40 dias depois da semeadura pode afetar essa variável.

A Figura 16B mostra o comportamento do diâmetro do estipe para cada tratamento. O melhor resultado foi obtido em T0, que apresentou valor de 5,30 mm, sendo maior que o T3, T4, T1 e T2, com médias de 5,20, 5,03, 4,58 e 4,47 mm, respectivamente. O diâmetro do estipe foi menor quando a radiação diminuiu. Isto é contraditório pois o T0 é o tratamento com o maior sombreamento e apresentou o maior diâmetro do estipe, O T2, o qual é o segundo com mais sombreamento, apresentou o menor engrossamento do estipe.

O comprimento de raiz não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Figura 16C). As plantas do T3 apresentara, o maior crescimento das raízes com valor médio de 10,82 cm. Os demais tratamentos T0, T2, T1 e T4 apresentaram valores médios de 10,06, 9,33, 9,03 e 8,18 cm, respectivamente. O T3 foi o tratamento que expus as mudas à luz solar direta mais cedo, desta forma a perda de água começou primeiro, causando um maior desenvolvimento nas raízes.

Este resultado sugere, de maneira geral, que as mudas mantidas sob 50 % de sombreamento nos primeiros 90 dias (T0) em pré-viveiro apresentaram maior altura e maior biomassa acumulada no estipe. Por outro lado, plantas expostas a protocolos de rustificação com mais de 90 dias de idade apresentaram pequeno crescimento da parte aérea e das raízes, não apresentando plântulas com boas qualidades.

O crescimento das raízes foi estimulado quando as mudas foram expostas a maior radiação solar (T3), o que é uma qualidade importante para a adaptabilidade em viveiro, devido às altas temperaturas que a radiação solar direta pode causar. Esse efeito pode fazer com que as raízes aumentem sua área em busca de água para suportar as perdas pela transpiração.

### **3.1.2. Análises da Biomassa Acumulada**

#### **3.1.2.1. Biomassa Fresca**

Os resultados do acúmulo de biomassa fresca nas folhas, estipe e raízes não apresentaram diferença significativa (Tabela 3).

O T1 apresentou as maiores médias do acúmulo de biomassa fresca nas folhas e nas raízes com valores de 1,56 e 1,25, respectivamente. Para o estipe, o T0 apresentou a maior média, igual a 3,53 g. O T2 apresentou o menor acúmulo de biomassa fresca no estipe e nas raízes. Este tratamento foi composto pelo segundo maior sombreamento entre os tratamentos durante o período de rustificação, perdendo unicamente para o T0.

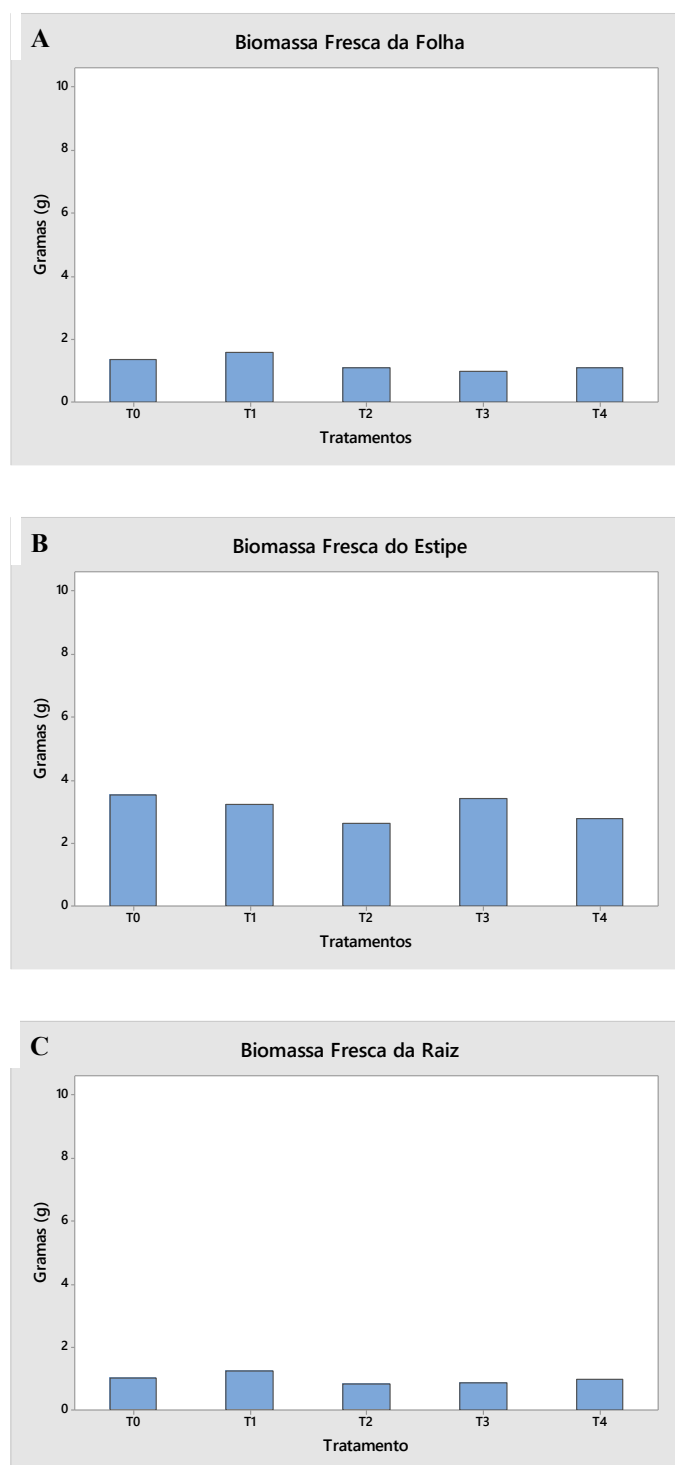
Os tratamentos com maior sombreamento acumularam maior acúmulo de biomassa na parte aérea das plantas, isto provavelmente pode ser explicado como um mecanismo de sobrevivência em aumentar a área de exposição à radiação solar e desta forma aumentar a captação de luz. Esta hipótese se confirma pelo fato de os tratamentos com as maiores exposições ao sol apresentarem o menor acúmulo de biomassa seca nas folhas, justamente com o objetivo de diminuir a área de captação (Figura 16).

**Tabela 3.** Significância da comparação de médias pelo teste Tukey em 95 % de probabilidade no acúmulo de biomassa fresca em Folha, Estipe e Raiz em mudas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart., aos 90 dias de idade, submetidas a 5 protocolos de rustificação por radiação em estádio de pré-viveiro. **T0 – Tratamento testemunha:** Sombríte de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1 - Tratamento 1:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T2 - Tratamento 2:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3 - Tratamento 3:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombríte de 25 durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4 - Tratamento 4:** Sombríte de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombríte durante 30 dias.

Tratamento	Biomassa Fresca da Folha		Biomassa Fresca do Estipe		Biomassa Fresca de Raíz	
T0	1.3550	A	3.5388	A	0.9975	A
T1	1.5613	A	3.2088	A	1.2500	A
T2	1.0838	A	2.6100	A	0.8400	A
T3	0.9650	A	3.4125	A	0.8525	A
T4	1.0700	A	2.7625	A	0.9863	A

Nos tratamentos os quais a exposição à radiação solar aconteceu após os primeiros 40 dias após sementeira, o estipe apresentou os mais baixos acúmulos de biomassa. O tratamento com o maior acúmulo de biomassa no estipe foi o T0.

Já na raiz os resultados mostraram-se dispersos, apresentando comportamentos divergentes com respeito ao sombreamento. A partir disto, o acúmulo de biomassa seca foi estudado com a finalidade de inferir conclusões mais acuradas respeito o efeito da alteração da radiação em mudas de macaúba.



**Figura 16.** Média do acúmulo de biomassa fresca acumulada em **A.** Folhas, **B.** Estipe e **C.** Raiz em mudas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart., aos 90 dias de idade, submetidas a 5 protocolos de rustificação por radiação em estágio de pré-viveiro. **T0** – **Tratamento testemunha:** Sombríte de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1** - Tratamento 1: Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T2** - Tratamento 2: Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3** -



Tratamento 3: Sombrite de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombrite de 25 durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4** - Tratamento 4: Sombrite de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombrite de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombrite durante 30 dias.

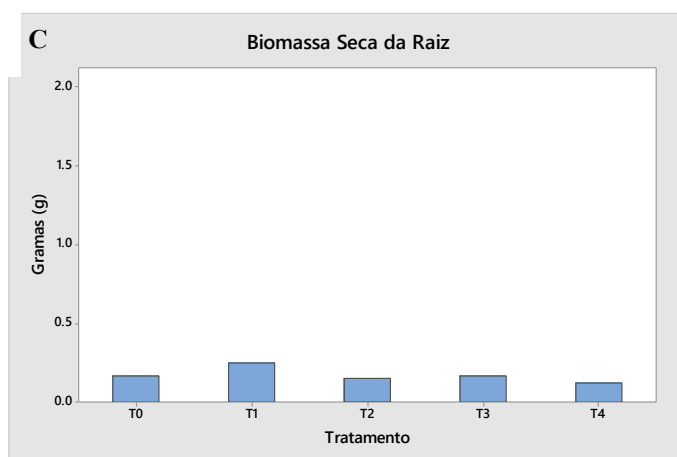
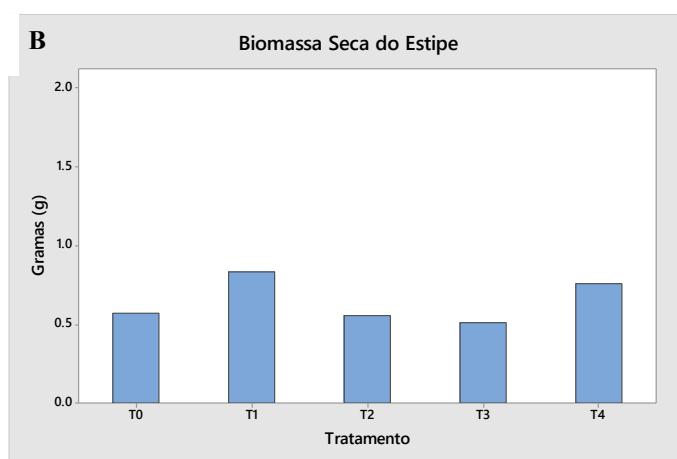
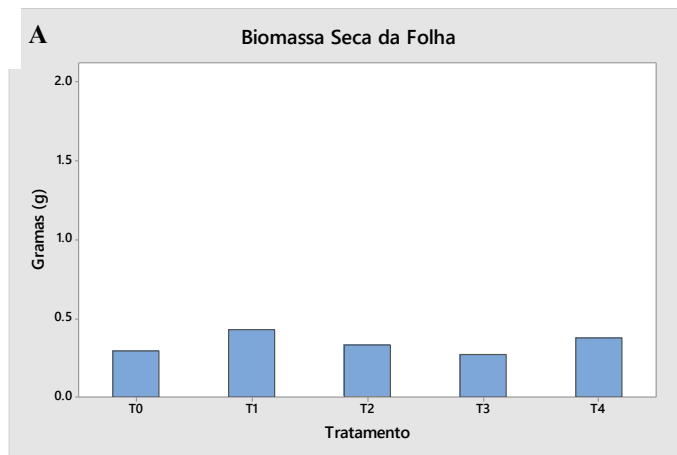
### 3.1.2.2. Biomassa Seca

A análise do acúmulo de biomassa fresca nas mudas não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Figura 17), indicando que a alteração da irradiância não causa efeitos significativos no acúmulo de biomassa seca nas mudas de macaúba quando avaliadas aos 90 dias após semeadura (Tabela 4).

**Tabela 4.** Significância da comparação de médias pelo teste Tukey em 95 % de probabilidade no acúmulo de biomassa seca em Folha, Estipe e Raiz em mudas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart., aos 90 dias de idade, submetidas a 5 protocolos de rustificação por radiação em estádio de pré-viveiro. **T0 – Tratamento testemunha:** Sombrite de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1** - Tratamento 1: Sombrite de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T2** - Tratamento 2: Sombrite de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombrite de 25 % durante os seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3** - Tratamento 3: Sombrite de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombrite de 25 durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4** - Tratamento 4: Sombrite de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombrite de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombrite durante 30 dias.

Tratamento	Biomassa Seca da Folha		Biomassa Seca do Estipe		Biomassa Seca da Raíz	
T0	0.2929	A	0.5723	A	0.1624	A
T1	0.4300	A	0.8297	A	0.2471	A
T2	0.3296	A	0.5527	A	0.1492	A
T3	0.2712	A	0.5108	A	0.1623	A
T4	0.3760	A	0.7541	A	0.1182	A

O T1 foi o tratamento que teve a mudança mais brusca, passando do sombrite de 50 % para a exposição à radiação solar sem sombrite dentro do ambiente controlado sem nenhum processo de aclimatação anterior. Este processo pode ter levado às plantas a apresentar um processo fotossintético mais veloz com relação aos outros tratamentos, incrementando a produção de energia e com isso o crescimento das plantas.



**Figura 17.** Média do acúmulo de biomassa seca acumulada em A. Folhas, B. Estipe e C. Raiz em mudas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart., aos 90 dias de idade, submetidas a 5 protocolos de rustificação por radiação em estágio de pré-viveiro. **T0 – Tratamento testemunha:** Sombríte de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1 - Tratamento 1:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T2 - Tratamento 2:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3 - Tratamento 3:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4 - Tratamento 4:** Sombríte de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombríte durante 30 dias.

### 3.1.3. Análise dos fotoassimilados em estágio de pré-viveiro

Os resultados não apresentaram diferença significativa dos fotoassimilados acumulados na folha e no estipe entre os tratamentos no estágio pré-viveiro (Tabela 5). No entanto, os acúmulos de fotoassimilados nas raízes apresentaram diferença significativa entre os tratamentos (ANOVA:  $F = 5,31$ ;  $P = 0,011$ ).

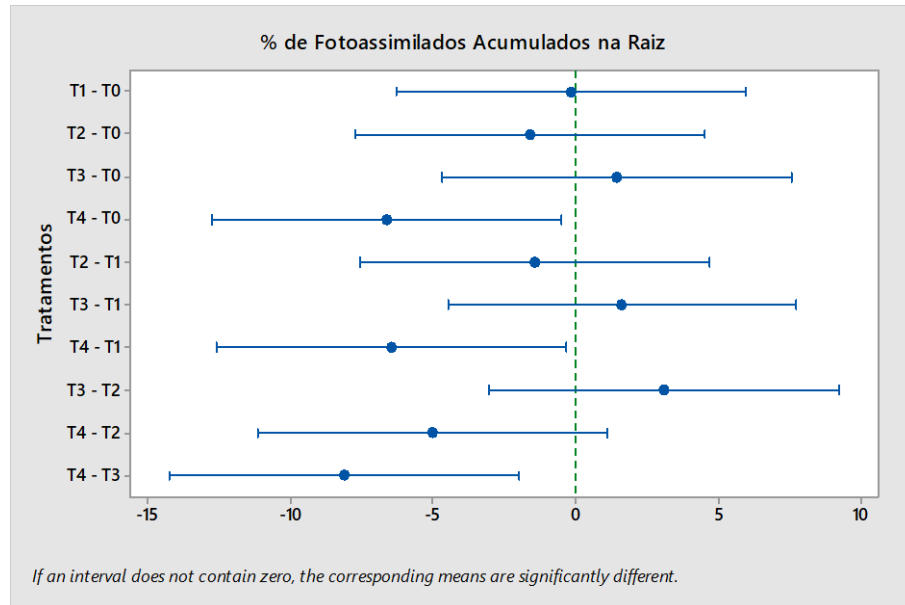
Isto indica que pelo menos um tratamento afeta o acúmulo dos fotoassimilados na raiz e, conseqüentemente, afeta o crescimento das raízes. A perda de água no interior das mudas faz com que o crescimento da raiz seja uma resposta fisiológica à sobrevivência.

**Tabela 5.** Significância da comparação de médias pelo teste Tukey em 95 % de probabilidade na distribuição de fotoassimilados na folha, no estipe e na raiz em mudas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart aos 90 dias de idade, submetidas a 5 protocolos de rustificação por radiação em estádio de pré-viveiro. **T0 – Tratamento testemunha:** Sombríte de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1 - Tratamento 1:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T2 - Tratamento 2:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3 - Tratamento 3:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4 - Tratamento 4:** Sombríte de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombríte durante 30 dias.

Tratamento	% de Fotoassimilados na Folha		% de Fotoassimilados no Estipe		% de Fotoassimilados na Raiz	
T0	28.546	A	55.4116	A	16.0424	A
T1	28.6369	A	55.4943	A	15.8688	A
T2	32.3965	A	53.1727	A	14.4308	AB
T3	29.1736	A	53.3363	A	17.4901	A
T4	29.8095	A	60.7813	A	9.4092	B

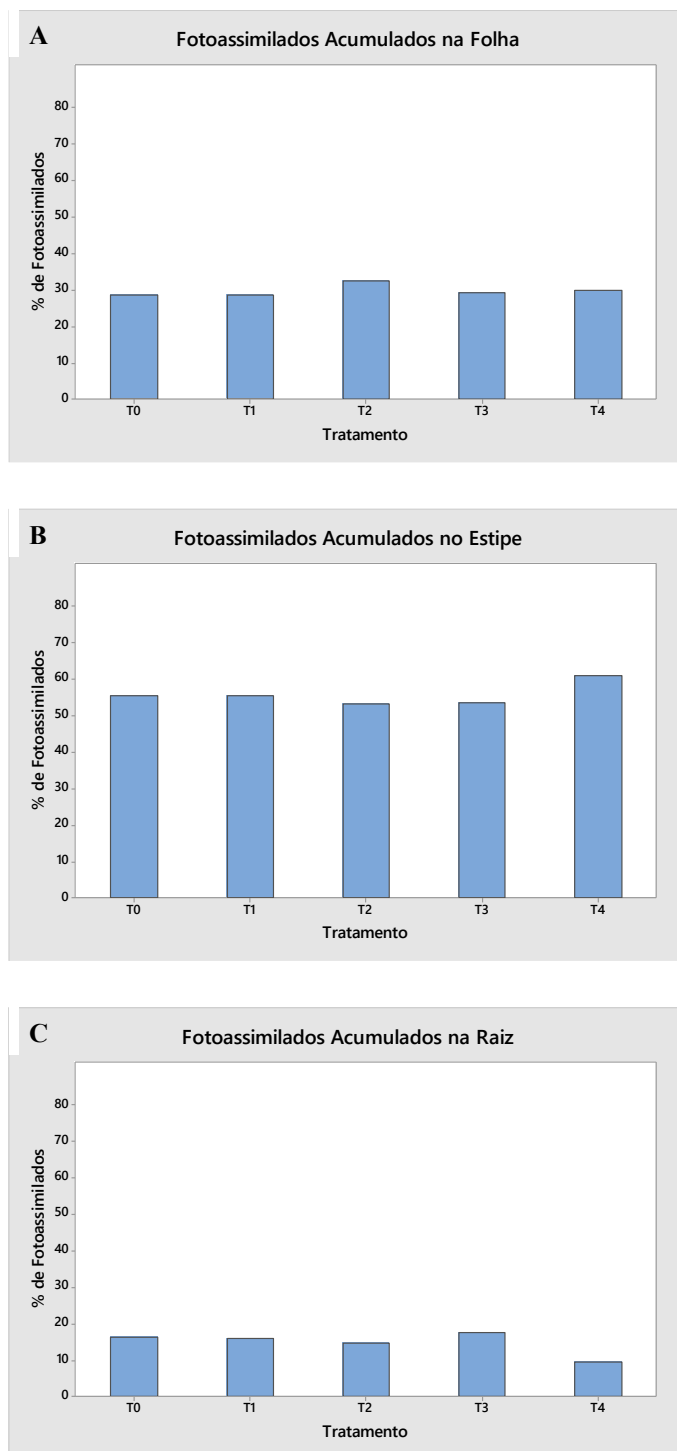
Na Figura 18 é possível observar as relações duais das médias da porcentagem de fotoassimilados nas raízes entre os tratamentos. Os resultados mostram que o T4 com valor de 9,40 % difere significativamente dos tratamentos T0, T1 e T3 com valores médios de 16,04 %, 15,86 % e 17,49 %, respectivamente, mas não diferem estatisticamente de T2 com valor de 14,43 %. Assim, é possível afirmar que o tipo de protocolo de exposição à radiação solar afeta a quantidade de fotoassimilados acumulados na raiz. O tratamento T4, é o tratamento que utilizou mais tempo no processo de rustificação e, conseqüentemente, tem a maior quantidade de energia acumulada durante o período experimental. Na seqüência das médias dos fotoassimilados nas raízes nos tratamentos aplicados temos  $T3 > T0 > T1 > T2 > T4$ .

Os tratamentos T0 e T1 apresentaram fotoassimilados acumulados semelhantes em todas as partes da planta, (Figura 19A, 19B e 19C). Esses resultados permitem afirmar que o uso do processo de rustificação em mudas de Macaúba aumentando a exposição à radiação solar após 40 dias em pré-viveiro não tem efeito no acúmulo de fotoassimilados nas folhas, estipe e raízes, comparativamente a mudas mantidas sob sombreamento de 50 % durante todo o estádio de pré-viveiro.



**Figura 18.** Comparação dual das médias dos fotoassimilados acumulados na raiz em mudas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart., para os 5 tratamentos de radiação aplicados no experimento em estágio pré-viveiro mediante teste de médias de Tukey em 95 % de probabilidade. **T0 – Tratamento testemunha:** Sombríte de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1 - Tratamento 1:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T2 - Tratamento 2:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3 - Tratamento 3:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4 - Tratamento 4:** Sombríte de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombríte durante 30 dias.

O T2 apresentou o maior percentual de acúmulo dos fotoassimilados nas folhas quando comparado com T0, T1, T3 e T4, com valor médio de 32,39, 28,54, 28,63, 29,17 e 29,80 %, respectivamente. Da mesma forma, T2 apresentou o menor acúmulo de fotoassimilados no estipe com média de 53,17 % e o segundo menor acúmulo de fotoassimilados na raiz com média de 14,43 %. As mudas deste tratamento apresentaram baixo crescimento da parte aérea, com diâmetro do estipe pequeno e mudas com pequeno desenvolvimento radicular. Esses resultados sugerem que as plantas do T2 não apresentam características desejáveis que possam aumentar a sobrevivência das mudas em campo (Figura 20A, 20B e 20C).



**Figura 19.** Resultados da média nos fotoassimilados acumulados no **A.** Folhas, **B.** Estipe e **C.** Raiz em mudas em mudas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart., de sob diferentes protocolos de radiação solar em estágio pré-viveiro mediante o teste de médias de Tukey em 95 % de probabilidade para 5 tratamentos aplicados. **T0 – Tratamento testemunha:** Sombríte de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1** - Tratamento 1: Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T2** - Tratamento 2: Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os

seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3** - Tratamento 3: Sombríte de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4** - Tratamento 4: Sombríte de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombríte durante 30 dias.

O tratamento T3 apresentou o maior acúmulo de fotoassimilados na raiz, com média de 17,49 %. O T0, T1, T2 e T4 apresentaram média de 16,04, 15,86, 14,43 e 9,40 %, respectivamente. O T3 também apresentou um baixo acúmulo de fotoassimilados no estípe com média de 53,33 %, sendo o segundo menor valor dentre os tratamentos. Em relação à porcentagem de fotoassimilados nas folhas, o T3 apresentou comportamento semelhante ao T0 e T1, com valores de 29,17, 28,54 e 28,63, respectivamente, estando abaixo da média geral na porcentagem de fotoassimilados acumulados entre os tratamentos.

O tratamento T4 apresentou o segundo maior acúmulo de fotoassimilados nas folhas, com média de 29,80 % sendo inferior apenas ao T2, que tem média de 32,39 %. No estípe, as mudas do T4 apresentaram o maior acúmulo de fotoassimilados, com uma média de 60,78 % sendo aproximadamente 5 % mais fotoassimilados acumulados que no T0 e T1, e com 7 % a mais do que em T2 e T3.

No entanto, para os fotoassimilados acumulados na raiz, o T4 apresentou diferença estatística entre os tratamentos, sendo a menor média com valor de 9,40 % aproximadamente 8 % menor que os fotoassimilados acumulados nas mudas de T3, o qual foi o tratamento com o maior acúmulo de fotoassimilados.

### **3.2. Estádio Viveiro (Validação do processo de Rustificação)**

Durante este estágio de crescimento foram avaliadas 14 variáveis morfológicas e fisiológicas, das quais 7 apresentaram diferenças estatísticas significativas dentre os tratamentos. As variáveis que apresentaram diferenças significativas foram: altura da parte aérea, biomassa fresca em folhas e raiz, biomassa seca em folhas, estípe, bulbo e raiz.

A seguir são apresentadas por tratamentos as mudas que foram utilizadas como amostras nas análises realizadas durante este experimento (Figura 20).



**Figura 20.** Mudas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart., representativas de cada tratamento utilizadas como amostras nas análises morfológicas e fisiológicas ao final do estágio de viveiro (11 meses após semeadura). **T0 – Tratamento testemunha:** Sombríte de



50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1** - Tratamento 1: Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T2** - Tratamento 2: Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3** - Tratamento 3: Sombríte de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4** - Tratamento 4: Sombríte de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombríte durante 30 dias.

### 3.2.1. Análises Morfológicas

A altura da parte aérea (ANOVA:  $F = 4,54$ ;  $P = 0,009$ ) mostrou diferenças significativa entre os tratamentos.

As variáveis diâmetro do estipe (ANOVA:  $F = 0,79$ ;  $P = 0,544$ ) e comprimento da raiz (ANOVA:  $F = 1,69$ ;  $P = 0,191$ ) não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos aplicados (Tabela 6).

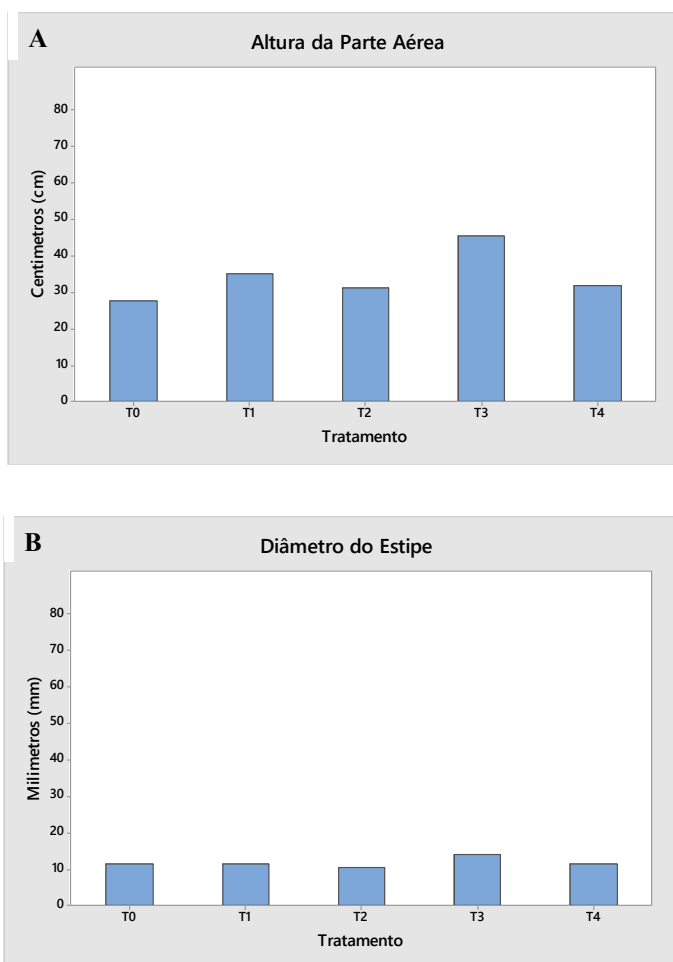
**Tabela 6.** Significância da comparação de médias pelo teste Tukey em 95 % de significância no crescimento de Parte aérea, Diâmetro do estipe e Comprimento de raiz em mudas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart., aos 90 dias de idade, submetidas a 5 protocolos de rustificação por radiação em estádio de pré-viveiro. **T0 – Tratamento testemunha:** Sombríte de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1** - Tratamento 1: Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T2** - Tratamento 2: Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3** - Tratamento 3: Sombríte de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4** - Tratamento 4: Sombríte de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombríte durante 30 dias.

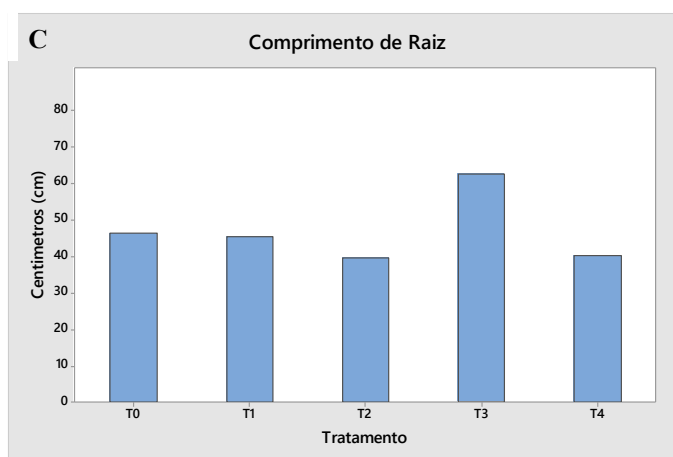
Tratamento	Altura da Parte Aérea		Diâmetro do Estipe		Comprimento de Raíz	
T0	27.38	B	11.486	A	46.30	A
T1	34.88	AB	11.252	A	45.44	A
T2	31.00	B	10.382	A	39.60	A
T3	45.16	A	13.854	A	62.46	A
T4	31.86	AB	11.382	A	40.20	A

A Figura 21, apresenta os efeitos médios mediante Tukey para três variáveis; altura da parte aérea, diâmetro do estipe e comprimento da raiz.

A Figura 21A, mostra os resultados da altura da parte aérea, cujos tratamentos apresentaram diferenças significativas. O tratamento T3 apresentou valor médio de altura da parte aérea igual a 45,16 cm, significativamente diferente dos tratamentos T2 e T0, que apresentaram valores médios de 31,00 e 27,38 cm, respectivamente, mas não apresentaram diferença significativa com o tratamento T1 e T4, com médias de 34,88 e 31,86 cm, respectivamente.

Na figura 21B e 21C observa-se o comportamento da variável diâmetro do estipe e comprimento da raiz no estágio de viveiro, respectivamente, não apresentando diferença entre os tratamentos.





**Figura 21.** Média das variáveis morfológicas de **A.** altura de parte aérea, **B.** diâmetro do estipe e **C.** Altura da raiz em mudas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart., sob diferentes protocolos de radiação solar em estágio pré-viveiro utilizando o modelo de Tukey em 95 % de probabilidade por 5 tratamentos aplicados. **T0 – Tratamento testemunha:** Sombríte de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1** - Tratamento 1: Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T2** - Tratamento 2: Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3** - Tratamento 3: Sombríte de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4** - Tratamento 4: Sombríte de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombríte durante 30 dias.

No entanto, nos gráficos é possível observar que o T3 se destacou em relação aos demais tratamentos para ambas as variáveis. O T3 apresentou uma diferença de aproximadamente 3,5 cm em relação ao último tratamento da sequência (Figura 27).

### 3.2.2. Análises do Acúmulo de Biomassa

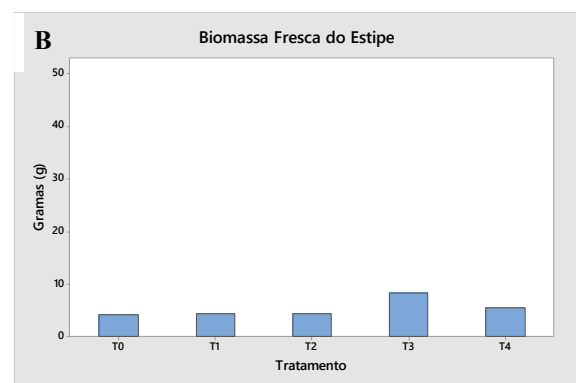
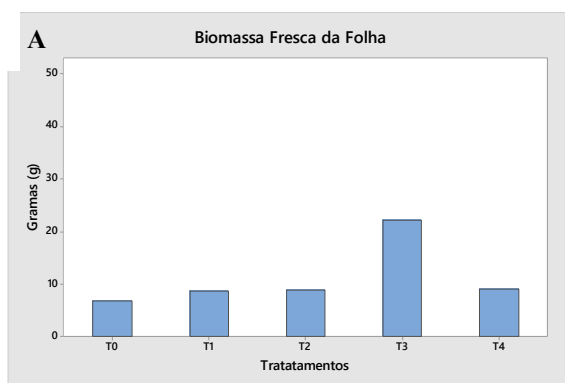
#### 3.2.2.1. Biomassa Fresca

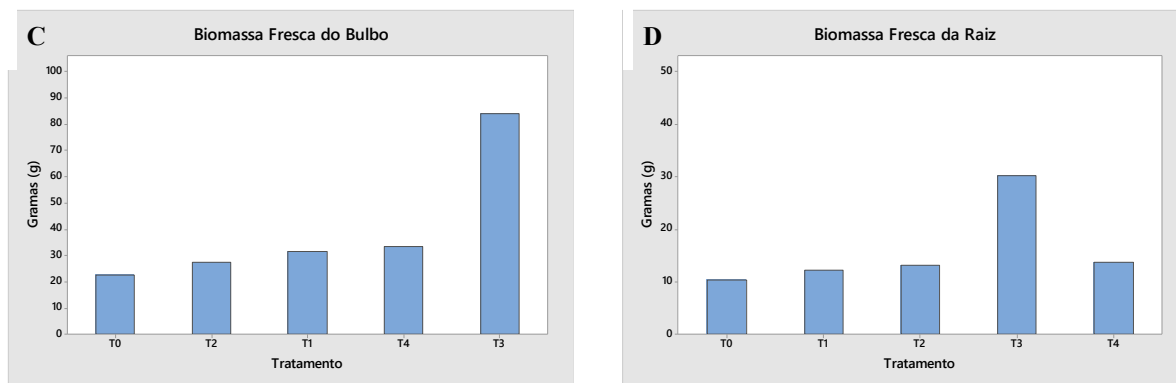
Os resultados mostram que o processo de aclimatização das mudas de macaúba à irradiância no estágio de pré-viveiro altera a biomassa fresca acumulada. Os tratamentos apresentaram diferença significativa para folhas (ANOVA:  $F = 6,01$ ;  $P = 0,002$ ), bulbo (ANOVA:  $F = 12,86$ ;  $P = 0,000$ ) e raiz (ANOVA:  $F = 7,00$ ;  $P = 0,001$ ), porém, não apresentaram diferença para biomassa acumulada no estipe (Tabela 7).

**Tabela 2.** Comparação da Significância de médias pelo teste Tukey em 95 % de probabilidade no acúmulo de biomassa fresca acumulada em folhas, estipe, bulbo e raiz em mudas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart., submetidas a 5 protocolos de rusticificação por radiação. **T0 – Tratamento testemunha:** Sombríte de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1 - Tratamento 1:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T2 - Tratamento 2:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3 - Tratamento 3:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombríte de 25 durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4 - Tratamento 4:** Sombríte de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombríte durante 30 dias.

Tratamento	Biomassa Fresca da Folha		Biomassa Fresca do Estipe		Biomassa Fresca do Bulbo		Biomassa Fresca da Raíz	
T0	6.726	B	4.174	A	22.558	B	10.382	B
T1	8.54	B	4.292	A	27.466	B	12.128	B
T2	8.882	B	4.228	A	31.58	B	13.026	B
T3	22.108	A	8.328	A	33.26	B	30.202	A
T4	8.992	B	5.364	A	84.024	A	13.714	B

O tratamento T3 apresentou as maiores médias de acúmulo de biomassa fresca em todas as partes das plantas. Nas folhas, o T3 apresentou 22,10 g, sendo maior que para os tratamentos T4, T2, T1 e T0, com valores de 8,99 g, 8,88 g, 8,54 e 6,72 g, respectivamente. No bulbo a média do acúmulo de biomassa fresca foi maior nas mudas do T3, Igual a 84,02 g, já o T4, T1, T2 e T0 apresentaram 33,26, 31,58, 27,46 e 22,55 g, respectivamente. O acúmulo de biomassa na raiz apresentou a mesma sequência do acúmulo de biomassa fresca nas folhas, onde o T3 apresentou 30,20 g e o T1, T4, T2, T1 e T0 apresentaram 13,71 g, 13,02 g, 12,12 g e 10,38, respectivamente, (Figura 22).

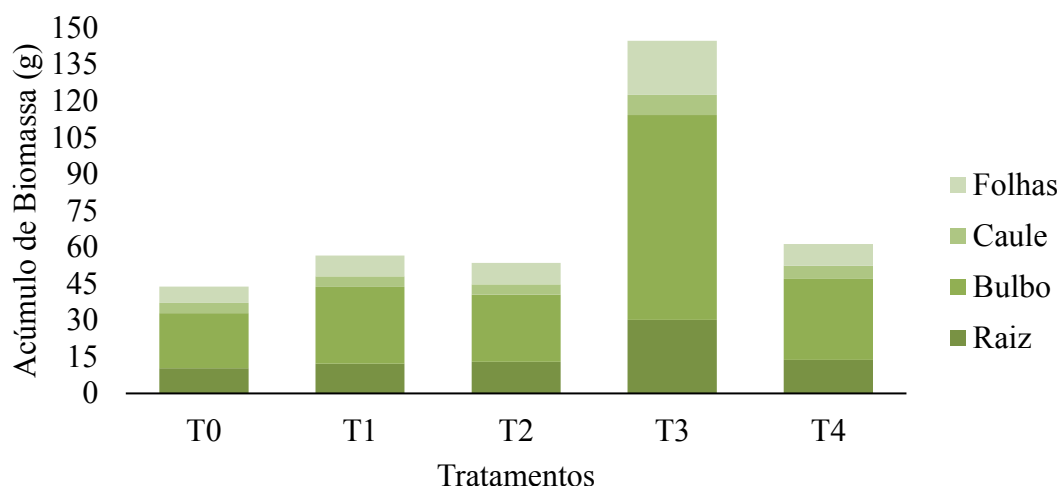




**Figura 22.** Média do acúmulo de biomassa fresca acumulada em A. Folhas, B. Estipe, C. Bulbo e D. raiz em mudas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart., aos 8 meses em estádio de Viveiro quando submetidas a diferentes processos de rustificação. **T0 – Tratamento testemunha:** Sombríte de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1 - Tratamento 1:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T2 - Tratamento 2:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3 - Tratamento 3:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4 - Tratamento 4:** Sombríte de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombríte durante 30 dias.

Por outro lado, o acúmulo de biomassa fresca no estipe, o qual não apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos, indicou que o maior acúmulo de biomassa aconteceu nas mudas do T3 com uma média de 8,32 g. Para todas as partes das plantas o T0 apresentou os mais baixos acúmulos de biomassa fresca, apresentando assim as plantas mais baixas. Por outra parte as mudas sob o T3 apresentaram-se mais altas e com os maiores acúmulos de biomassa fresca, quando comparado aos outros tratamentos (Figura 23).

A



**Figura 23.** Acúmulo de biomassa fresca em mudas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart., submetidas a 5 protocolos de rustificação por radiação solar em estágio de viveiro. **T0 – Tratamento testemunha:** Sombríte de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1 - Tratamento 1:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T2 - Tratamento 2:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3 - Tratamento 3:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4 - Tratamento 4:** Sombríte de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombríte durante 30 dias.

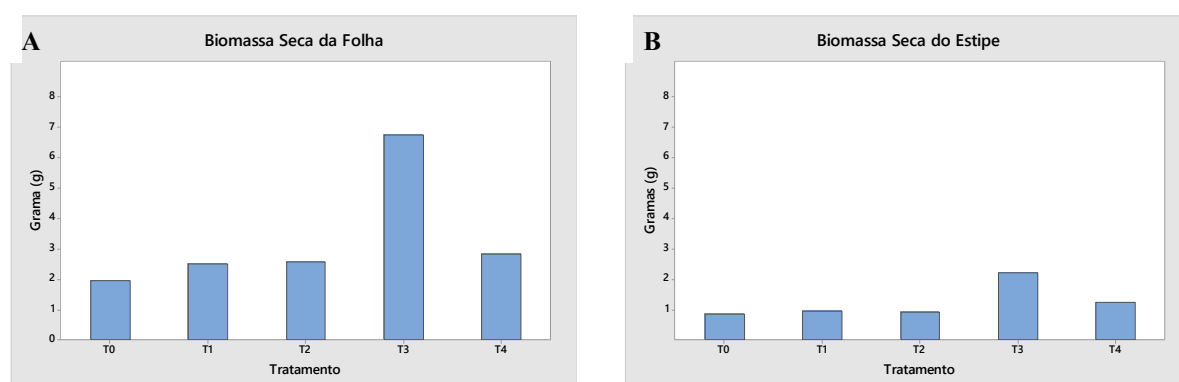
### 3.2.2.2. Biomassa Seca

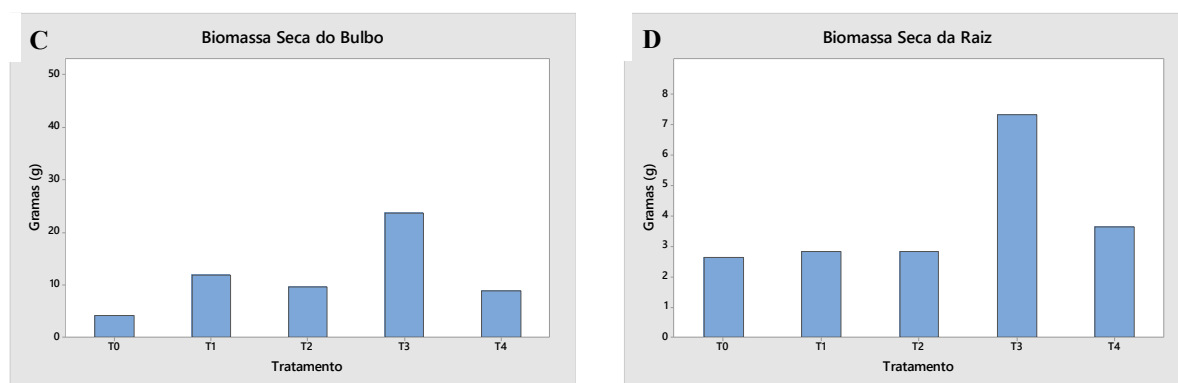
A biomassa seca acumulada demonstrou diferenças significativas entre os tratamentos para todas as partes das plantas; folha (ANOVA:  $F = 6,37$ ;  $P = 0,002$ ), estipe (ANOVA:  $F = 5,25$ ;  $P = 0,005$ ), bulbo (ANOVA:  $F = 5,42$ ;  $P = 0,004$ ) e raiz (ANOVA:  $F = 7,24$ ;  $P = 0,001$ ), indicando assim que o uso de diferentes processos de rustificação no estágio de pré-viveiro causa alteração na produção e no acúmulo de biomassa seca nas mudas de Macaúba. Observa-se que dentre os tratamentos o T3 apresentou o maior acúmulo de biomassa seca para todos os órgãos das plantas (Tabela 8).

**Tabela 8.** Significância da comparação de médias pelo teste Tukey em 95 % de probabilidade no acúmulo de biomassa seca acumulada em Folhas, Estipe, Bulbo e Raiz em mudas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart., submetidas a 5 protocolos de rustificação por radiação. **T0 – Tratamento testemunha:** Sombríte de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1 - Tratamento 1:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T2 - Tratamento 2:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3 - Tratamento 3:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4 - Tratamento 4:** Sombríte de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombríte durante 30 dias.

Tratamento	Biomassa Seca da Folha		Biomassa Seca do Estipe		Biomassa Seca do Bulbo		Biomassa Seca da Raíz	
T0	1.93	B	0.846	B	4.06	B	2.612	B
T1	2.486	B	0.934	B	11.86	AB	2.806	B
T2	2.568	B	0.916	B	9.552	B	2.832	B
T3	6.74	A	2.208	A	23.624	A	7.316	A
T4	2.812	B	1.216	AB	8.836	B	3.626	B

No entanto, no acúmulo de biomassa seca no estipe, o T3 não apresentou diferença com o T4, apresentando aproximadamente 1,0 g de diferença entre as médias (Figura 28B). A mesma situação é observada no acúmulo de biomassa seca no bulbo, no qual o T3 não apresentou diferença com o T1, apresentando aproximadamente 11,0 g de diferença entre as médias (Figura 28C). Já para o acúmulo de biomassa seca em folhas e raízes o T3 apresentou diferença significativa total com todos os tratamentos, demonstrando um comportamento similar dos tratamentos entre os dois órgãos (Figura 24A e 24D).

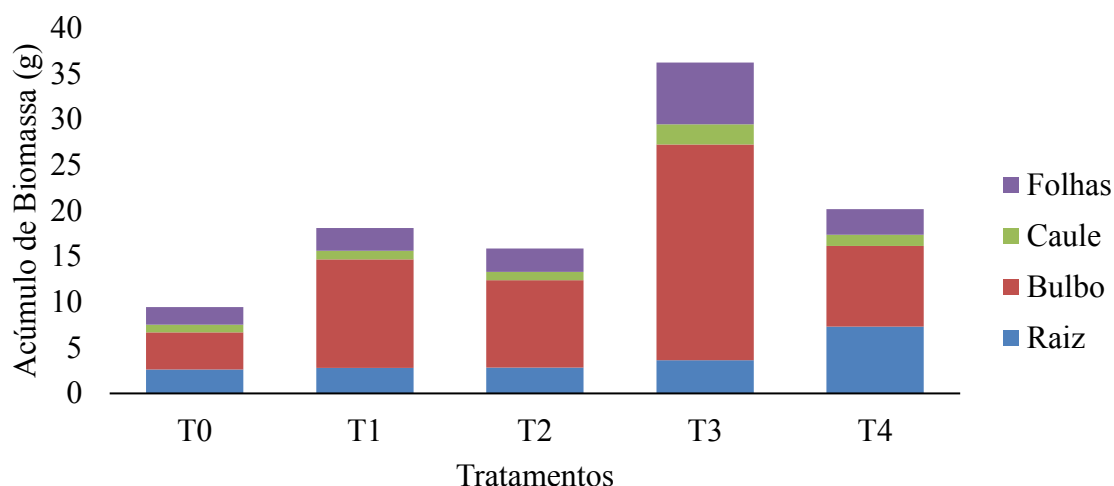




**Figura 24.** Média do acúmulo de biomassa seca acumulada em **A.** Folhas, **B.** Estipe, **C.** Bulbo e **D.** raiz em mudas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart., em estágio de Viveiro quando submetidas a diferentes processos de rustificação em estágio de pré-viveiro. **T0 – Tratamento testemunha:** Sombríte de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1 - Tratamento 1:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T2 - Tratamento 2:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3 - Tratamento 3:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombríte de 25 durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4 - Tratamento 4:** Sombríte de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombríte durante 30 dias.

A comparação dos tratamentos no acúmulo de biomassa seca demonstra claramente um maior crescimento nas mudas de macaúba sob o T3. Em contraste, as mudas de macaúba sob o T0 apresentaram menor acúmulo de biomassa seca e, conseqüentemente, apresentaram-se mais baixas quando comparado as mudas sob os outros tratamentos (Figura 25).



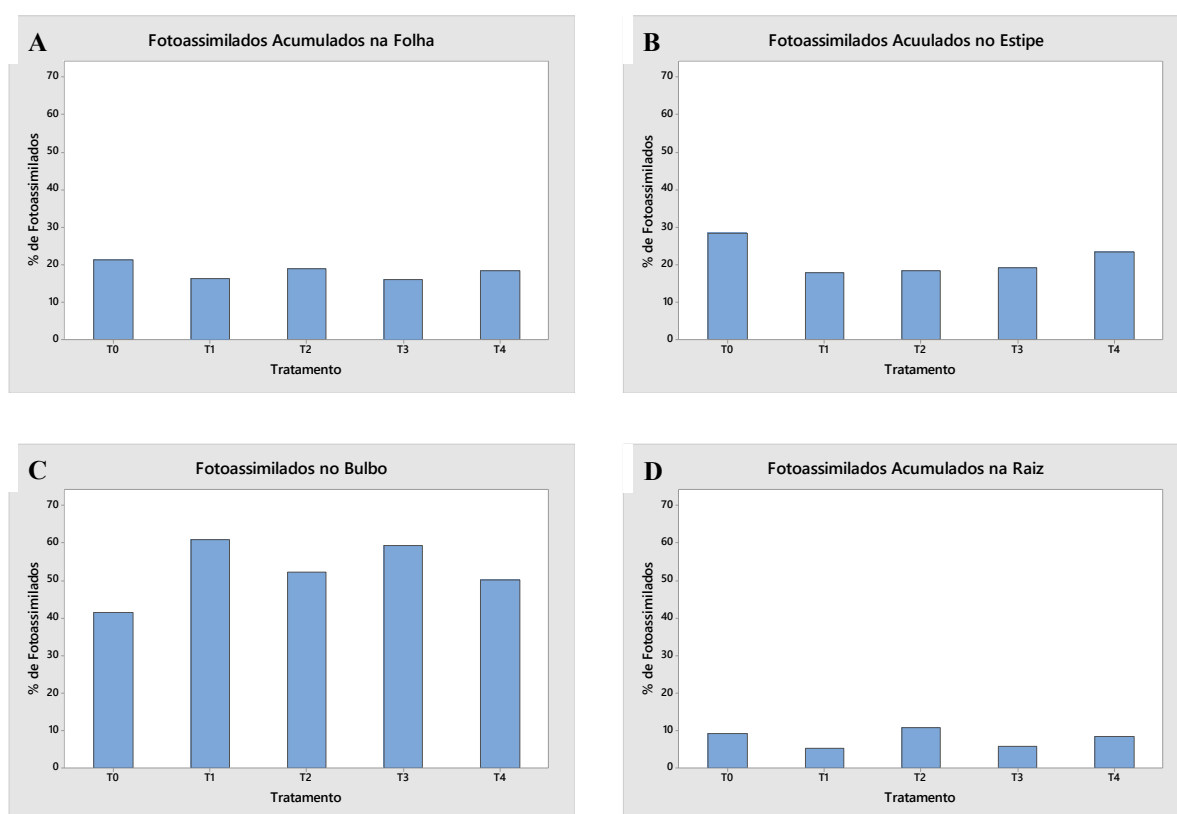


**Figura 25.** Acúmulo de biomassa Seca em mudas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart., submetidas a 5 protocolos de rustificação por radiação solar em estágio de viveiro. **T0 – Tratamento testemunha:** Sombríte de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1 - Tratamento 1:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T2 - Tratamento 2:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3 - Tratamento 3:** Sombríte de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4 - Tratamento 4:** Sombríte de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombríte durante 30 dias.

### 3.2.3. Análises de Fotoassimilados Acumulados em Estádio de Viveiro

Na análise dos fotoassimilados acumulados nas mudas, foi feita a relação entre a biomassa fresca e seca na planta toda. O percentual de fotoassimilados não apresentou diferença estatística para nenhum dos tratamentos aplicados em nenhuma das partes das mudas; folhas, estipe, raízes e bulbo. Na Figura 26A, é possível observar os fotoassimilados acumulados nas folhas em cada tratamento. Neste, os resultados indicam que as mudas sob os tratamentos com exposição solar mais lenta apresentaram mais fotoassimilados acumulados nas folhas do que os demais tratamentos, portanto, T0, T2 e T4, apresentaram o melhor acúmulo de assimilados com médias de 21,27, 18,93 e 18,36 %, respectivamente, e T1 e T3, o pior acúmulo com 16,21 e 16,05 %, respectivamente.

A figura 26B mostra a porcentagem de fotoassimilados acumulados no estipe. Esses resultados mostraram que o controle do tratamento acumulou mais fotoassimilados que os demais tratamentos, sendo o T4 o segundo melhor. Os tratamentos T0, T4, T3, T2 e T1 apresentaram acúmulo médio de fotoassimilados no estipe com valores de 28,20, 23,3811, 19,14, 18,26 e 17,74 %, respectivamente. Embora o T0 e o T4 representem menos radiação solar acumulada, esses tratamentos mantiveram as mudas em um processo de rustificação lenta em comparação com os demais tratamentos.



**Figura 26.** Comparação da média utilizando o teste de Tukey na porcentagem de fotoassimilados acumulados em **A.** Folhas **B.** estipe, **C.** Raiz e **D.** Bulbo em mudas de *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart., para cada tratamento aplicado em estágio de pré-viveiro. **T0 – Tratamento testemunha:** Sombrite de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1 - Tratamento 1:** Sombrite de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T2 - Tratamento 2:** Sombrite de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombrite de 25 % durante os seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3 - Tratamento 3:** Sombrite de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombrite de 25 durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4 - Tratamento 4:** Sombrite de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombrite de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombrite durante 30 dias.

Por outro lado, quando se observa a Figura 26C nota-se que folhas e raízes estão fisiologicamente ligadas no acúmulo de fotoassimilados, o que provavelmente se deva a que estes são os principais órgãos responsáveis pelo crescimento e desenvolvimento das plantas. Este resultado indica que o aumento do acúmulo de fotoassimilados na parte aérea também aumenta o acúmulo de fotoassimilados na raiz, sugerindo que o grau fotoassimilados de luminosidade afeta a distribuição de fotoassimilados na planta.

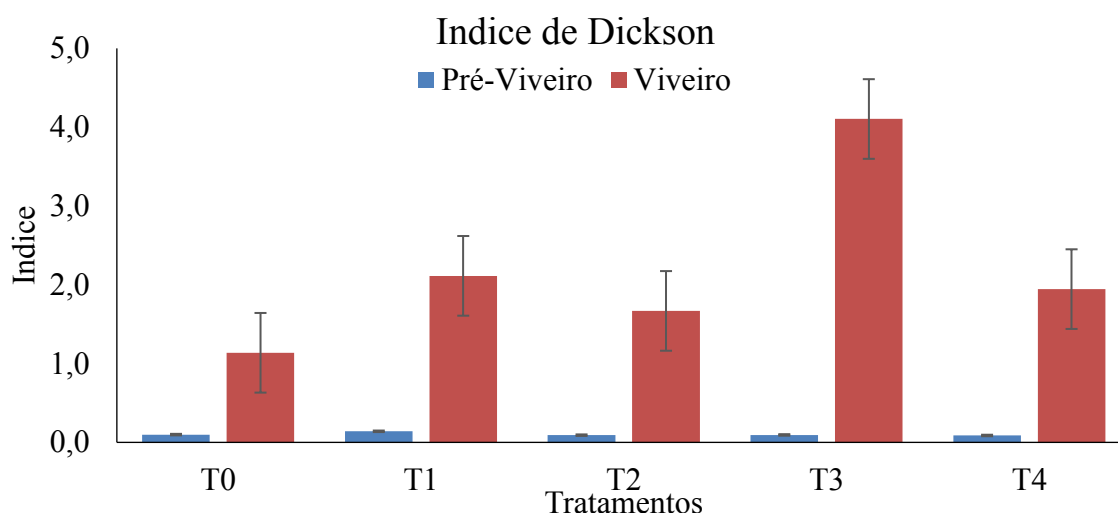
A porcentagem de fotoassimilados acumulados no bulbo (Figura 26D), apresentou comportamento contrário ao percentual de fotoassimilados na folhas e raiz. Este resultado pode explicar que a alta exposição das mudas de Macaúba à radiação solar causa maior acúmulo de assimilados no bulbo, provavelmente funcionando como uma reserva de energia, o oposto foi observado em mudas expostas sob alto sombreamento.

### **3.3. Índice de Qualidade**

Esse índice foi utilizado com o objetivo de encontrar a eficiência dos tratamentos na produção de mudas de alta qualidade, o índice de Dickson foi utilizado em ambas as safras realizadas neste experimento.

Os resultados em estágio de pré-viveiro não mostraram diferença estatística entre os tratamentos. Conclui-se que aos 90 dias avaliados os protocolos de rustificação nas mudas de Macaúba não há efeito na qualidade da mesmas (Figura 27).

Na fase de viveiro, a qualidade do índice de Dickson revelou que o T3 apresentou as mudas com a melhor característica para adaptar-se às condições de radiação solar direta. O T3 apresentou a maior média entre os tratamentos mas não apresentou diferença estatística significativa com os tratamentos T1 e T4, os quais usaram a maior taxa de irradiância acumulada durante o experimento.



**Figura 27.** Comparação da média do índice de Dickson em *Acrocomia aculeata*, Jacq. Lodd. Ex Mart., em fase pré-viveiro e viveiro para os tratamentos de radiação aplicados. **T0** – **Tratamento testemunha:** Sombríte de 50 % durante os 90 dias dentro da estufa, seguido por exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T1** - Tratamento 1: Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido por exposição à radiação solar dentro do ambiente controlado durante 50 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T2** - Tratamento 2: Sombríte de 50 % pelos primeiros 40 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 50 dias e logo exposição à radiação solar direta depois de transplantadas; **T3** - Tratamento 3: Sombríte de 50 % pelos primeiros 30 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 30 dias e radiação solar direta depois de transplantadas; **T4** - Tratamento 4: Sombríte de 50 % durante os primeiros 45 dias, seguido de sombríte de 25 % durante os seguintes 45 dias. Antes de serem transplantadas para o viveiro a pleno sol as mudas foram colocadas com 25 % de sombríte durante 30 dias.

## 4. DISCUSSÃO

A espécie *Acrocomia aculeata* apresentou boa adaptabilidade sob os diferentes protocolos de rustificação adotados neste experimento. A sobrevivência das mudas de macaúba foi de 100 % em todos os tratamentos aplicados neste experimento, porém, o comportamento de crescimento, morfológico e fisiológico foi afetado. Esta modificação nas características morfológicas sem causar morte ou danos severos às plantas pode levar à conclusão de que os tratamentos aplicados estavam dentro do limite da plasticidade fisiológica desta espécie. A maior parte das plantas apresentara, boa adaptação à variação da Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) e, de um modo geral, as plantas utilizadas em cultivo sob condições de luz solar apresentaram também um bom desenvolvimento nas condições de sombreamento.

No estágio de pré-viveiro, as variáveis morfológicas mostraram que foram afetadas pelo aumento da irradiância a qual foram submetidas. O crescimento da parte aérea e o estipe apresentaram efeito positivo sob condições de sombra e menor irradiância, mas não foi observada relação direta entre as duas variáveis. Por sua parte, as raízes cresceram mais nas mudas sob os tratamentos com maior exposição direta à radiação solar e cresceram menos nos tratamentos com maior tempo de exposição à sombra, sendo menores para as mudas que ficaram à sombra fora do ambiente controlado (T4). Em pré-viveiro, o percentual de acúmulo de assimilados nas folhas foi maior no tratamento que começou o processo de rustificação nos primeiros 45 dias, mas ao mesmo tempo este tratamento apresentou o menor percentual de acúmulo de fotoassimilados no estipe e nas raízes. O diâmetro do estipe foi maior sob o tratamento com mais tempo sob sombreamento, ou seja, o processo mais longo de rustificação, mas ao mesmo tempo apresentou as menores raízes.

Os tratamentos com maior exposição das mudas à radiação solar durante o estágio pré-viveiro apresentaram médias similares e permitiram obter plantas com maior produção de parte aérea. A situação inversa ocorreu com as mudas nos tratamentos cuja exposição à radiação solar foi menor durante a fase de pré-viveiro. A menor média entre os tratamentos foi a T0, que durante o estágio pré-viveiro manteve as mudas com aproximadamente 50 % de sombreamento. Este resultado indica que o uso de sombreamento durante todo o período inicial não ajuda as plântulas a terem um bom desenvolvimento da parte aérea nesta espécie e que o aumento do sombreamento é inversamente proporcional ao crescimento da parte aérea. A sombra pode afetar o desenvolvimento da folha, estipe e raízes, favorecendo a formação de

folhas mais finas com maior teor de água e baixo teor de biomassa seca em seus tecidos (Centro Australiano de Pesquisa Agrícola Internacional - ACIAR, 1991).

Nas análises realizadas após a fase de viveiro mostraram maior crescimento, desenvolvimento e acúmulo de biomassa fresca e seca nas plantas sob o tratamento que iniciou o processo de rustificação com 30 dias. Este resultado sugere que esta espécie apresenta boa eficiência no processo fotossintético e no acúmulo de biomassa nas diferentes partes das plantas sob altas intensidades luminosas (Figura 20). Considerando que as plantas apresentam uma faixa de tolerância à radiação solar variando de  $1 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para certas algas no Ártico a cerca de  $2000 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para outras plantas (AMUNTS & NELSON, 2008), a planta de macaúba encontra-se dentre aquelas que possuem uma alta capacidade bioquímica, já que sob intensidades luminosas de até  $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , a espécie não apresentou decaimento da fotossíntese (PIRES *et al.*, 2013). Por outra parte, a distribuição dos fotoassimilados nas diferentes partes das plantas indica que aquelas mudas submetidas a protocolos de rustificação com maior tempo sob sombreamento apresentaram maior acúmulo de fotoassimilados nas folhas e raiz do que aquelas mudas sob tratamentos com maior exposição à radiação solar. Isto pode ser causado pela capacidade de assimilação de carbono da macaúba, que possui um ponto de compensação luminosa próximo a  $2,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (PIRES *et al.*, 2013) permitindo assim uma alta eficiência da radiação incluso em ambientes sombreados, pois inicia a fotossíntese com baixas intensidades luminosas (SALISBURY & ROSS, 1985; GUARDA & CAMPOS, 2014). Isto indica que a espécie apresenta características fisiológica suficientemente flexíveis, o qual permite a sua adaptação em ambientes dinâmicos, permitindo melhor adaptação ecológica e geográfica da espécie.

O crescimento das raízes foi maior também nas plantas sob o T3, este crescimento foi induzido pelo aumento da temperatura no interior das plantas, o que altera o sistema fisiológico alterando a velocidade nas reações químicas e as enzimas envolvidas no processo metabólico (OLIARI *et al.*, 2010). Ulm e Jenkins (2015), afirmam que as plantas precisam desenvolver o mecanismo de proteção eficiente para alcançar um equilíbrio entre a captação de luz e a proteção UV-B. Estes mecanismos começam a desenvolver-se com um tempo mínimo para serem mais eficientes ao iniciar o processo de rustificação. As plantas estarão aptas à exposição UV-B, uma vez que desenvolvam os mecanismos para evitar danos (NIAZWALI, 2016). Desta forma, as plantas estimulam o crescimento das raízes, tentando equilibrar a perda de água por causa da evapotranspiração. O diâmetro do estipe é um importante parâmetro morfológico, pois permite estimar a qualidade das plantas e a

adaptabilidade no campo. Neste estudo, o maior diâmetro de estipe foi observado no tratamento com exposição à radiação solar mais precoce no estágio de viveiro (T3), assumindo que este tratamento seria mais adequado para adaptação no campo. Este resultado está de acordo com os resultados encontrados em outras espécies, como *Cariniana legalis*, *Tabebuia avellanedae* e *Erythrina speciosa*, nas quais o diâmetro do estipe foi influenciado pela maior radiação (REGO & POSSAMAI, 2006).

No resultados do percentual de acúmulo de biomassa seca, foi evidente que o sombreamento favoreceu o acúmulo de fotoassimilados para todos os órgãos. O T0 apresentou maior acúmulo de fotoassimilados nas folhas e no estipe das mudas. Considerando que as mudas T0 foram as menos expostas à radiação durante o processo de rustificação, esperava-se que o direcionamento dos assimilados fosse concentrado na produção da parte aérea, pois as plantas, quando mantidas sob condições de baixa radiação, tendem a aumentar o área de captura de luz para melhorar o processo de fotossíntese (LARCHER, 2000). A quantidade de matéria seca acumulada nas plantas é um indicativo da produção de fotossíntese líquida, indicando que T0 apresentou a melhor taxa de fotossíntese líquida e que os valores médios de radiação favorecem o acúmulo de carbono nestes órgãos em mudas de Macaúba em fase de viveiro.

O sistema fotossintético é altamente sensível às modificações na quantidade e qualidade da Radiação Ativa Fotossintética (PAR). O excesso de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) pode causar um aumento na absorção da radiação UV, produzindo um estresse devido a um processo fotoenergético. O excesso de energia que a folha recebe não pode ser usada causando diminuição da produção fotossintética e, dessa forma, diminuindo a assimilação de C. Behling et al., (2012), afirmam que o crescimento das plantas depende do biomassa seca acumulada nos tecidos vegetais pelo processo fotossintético. Assim, a produção de fitomassa é função do eficiente processo de conversão da PAR interceptada em fotoassimilados; estas condições podem variar dependendo das condições sob as quais as plantas são cultivadas. No entanto, os resultados deste trabalho mostram que existe um efeito da exposição à radiação solar quando as mudas não completaram seu desenvolvimento fisiológico e morfológico completo dentro da estufa.

## 5. CONCLUSÃO

✓ As mudas de macaúba apresentaram alta tolerância às intensas condições de radiação solar sem apresentar dano físico visível ou morte.

✓ As mudas de macaúba expostas a 25 % de sombra após 40 dias da semeadura apresentaram maior qualidade até os 90 dias de idade, mas não apresentaram boa qualidade após 8 meses sob condições de luz solar, quando avaliadas mediante o Índice de Qualidade de Dickson.

✓ O melhor processo de rustificação para obtenção de mudas de alta qualidade, adequado para adaptação em campo é: 50 % de sombra nos primeiros 30 dias no interior da estufa, seguido de 25 % de sombra nos 30 dias seguintes e transplântio das mudas para o viveiro a pleno sol.



## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AMUNTS, A.; NELSON, N. Plant Photosystem I Design in the Light of Evolution. *Structure/Folding and Design*, v. 17, n. 5, p. 637–650, 2009.

ANDRIOLO, J. L. Fisiologia da produção de hortaliças em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, v.18, p.26-33, Suplemento, 2000.

ANDRIOLO, J. L., LUZ, G. L., GIRALDI, C., GODOI, R. S., & BARROS, G. T. (2004). Cultivo hidropônico da alface empregando substratos: uma alternativa a NFT? *Horticultura Brasileira*, 22(4), 794–798.

ATROCH, E. M. A. C; SOARES, A. M.; ALVARENGA, A. A. de; CASTRO, E. M, de. Crescimento, teor de clorofilas, distribuição de biomassa e características anatômicas de plantas jovens de *Bauhinia forficata* LINK submetidas à diferentes condições de sombreamento. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 25, n. 4, p. 853–862, 2001.

AUSTRALIAN CENTRE FOR INTERNATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH - ACIAR. (1991). Shade Tolerane of Tropical Forages: A Review. In H. M. Shelton & W. W. Stur (Eds.), *Forages for Plantation Crops* (p. 168). Indonesia.

BEHLING, A., CARON, B. O., SOUZA, V. Q. DE, BAMBERG, R., & ELOY, E. (2012). Acúmulo de Radiação Solar Global para a Produção de Mudas de Eucalipto. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer*, 8(15), 1–8.

DICKSON, A., LEAF, A. L., & HOSNER, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries, 10–13.

GUARDA, V. D. A., & CAMPOS, L. J. M. (2014). Bases ecofisiológicas da assimilação de carbono e suas implicações na produção de forragem. *EMBRAPA. Palmas, Tocantins: EMBRAPA Pesca e Aquicultura*.

LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: RiMa, 2004.

NIAZWALI, S. A. **Examining the growth and performance of the effect of UV-B radiation on United Arab Emirates Date Palm Tree ( *Phoenix dactylifera* )**, 2016.

OLIARI, I. C. R., UMBURANAS, R. C., ESCHEMBACK, V., & KAWAKAMI, J. (2010). Efeito da restrição de luz solar e aumento da temperatura no crescimento de plantas de rabanete. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, 3(3), 83–88.

PIRES, T. P., SOUZA, S., KUKI, K. N., & MOTOIKE, S. Y. (2013). Ecophysiological traits of the macaw palm: A contribution towards the domestication of a novel oil crop. *Industrial Crops & Products*, 44, 200–210. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.09.029>

REBOUÇAS, P. M. et al. Radiação solar e temperatura do ar em ambiente protegido. *Agrogeoambiental*, v. 7, n. 2, p. 115–125, 2015.

REGO, G. M.; POSSAMAI, E. Efeito do Sombreamento sobre o Teor de Clorofila e Crescimento Inicial do Jequitibá-rosa. *Bol. Pesq. Fl.*, n. 53, p. 179–194, 2006.

ROMANINI, C. E. B.; GARCIA, A. P.; ALVARADO, L. M.; CAPPELLI, N. L.; UMEZU, C. K. Desenvolvimento e simulação de um sistema avançado de controle ambiental em cultivo protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.11, p.1193-1201, 2010.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. PLANT PHYSIOLOGY. (1985). **Wadsworth Publishing Company**. 3; (p. 540). Belmont.

ULM, R.; JENKINS, G. I. How do plants sense and respond to UV-B radiation ? *BMC Biology*, v. 13, n. 45, p. 4–9, 2015.

**CAPITULO III – RUSTIFICAÇÃO NUTRICIONAL EM MUDAS DE  
MACAÚBA SUBMETIDAS A VARIAÇÃO DE POTASSIO EM FASE DE  
PRE-VIVEIRO E VIVEIRO.**

## 1. INTRODUÇÃO

O potássio é um elemento livre na composição biológica das plantas, ele não faz parte de nenhum composto específico na planta mas por sua vez ele participa de múltiplos processos metabólicos e vitais das plantas; processo fotossintético, controle da abertura estomática, atividades de muitas enzimas e sínteses de proteínas (TAIZ & ZEIGER, 2009). Várias das características de qualidade de algumas plantas e seus frutos dependem da presença de potássio e do efeito deste nos processos fisiológicos, como são o enchimento do fruto e a produção de açúcares (D'AVILA et al., 2011; ARRUDA; MALAVOLTA, 2000).

Os processos de rustificação são realizados com variação da adubação potássica, em razão de seu efeito na abertura e fechamento estomático, o qual permite diminuir a perda de água em condições de estresse hídrico ou elevada radiação solar. a. A rustificação nutricional por potássio tem sido a melhor opção devido ao efeito de controle de perda de água que o potássio exerce dentro da planta. Desta forma, ao expor as plantas a altas irradiância e a déficit hídrico provavelmente existente nos solos, permite que as plantas apresentem melhor aproveitamento da água dentro dos tecidos vegetais. Em razão do potássio exercer sua função no transporte de água pelo xilema, a diminuição deste afeta a translocação de nutrientes importantes no desenvolvimento da planta, como são o fósforo, nitrato, cálcio, magnésio e aminoácidos (NOGUEIRA et al., 2011).

Em *Arecaceas* a diminuição do conteúdo de K nas folhas (fólios e haste) é um evento que afeta o crescimento destas, devido à alta mobilidade do K nas células e tecidos, o qual é translocado dos tecidos das folhas mais velhas até as células e tecidos das folhas mais novas e aos pontos de crescimento das plantas. Devido ao K agir no incremento do potencial osmótico no vacúolo e na estabilização do pH no citoplasma (LEIGH; JONES, 1984), em condições de déficit de K as plantas apresentam pequena expansão celular e o potencial osmótico aumenta, afetando também a abertura e fechamento de estômatos (MALAVOLTA; VITTI & OLIVEIRA, 1997).

Durante o processo atual de produção de mudas de macaúba é utilizado um plano de adubação baseado na pesquisa realizada por Pimentel (2012), na qual foi avaliada a resposta à omissão de nutrientes, por meio do qual ele obteve as primeiras recomendações de adubação para a cultura em condições de viveiro e campo. Da Motta et al., (2002), afirma que a macaúba acontece naturalmente em solos com valores médios de K de aproximadamente 97 mg dm<sup>-3</sup>, mas indica também que os valores de K no solo podem variar entre 26 e 136 mg

dm<sup>-3</sup>. No entanto, as informações sobre a nutrição na produção de mudas de macaúba ainda é limitada, principalmente quando refere-se a métodos eficazes de rustificação nutricional que permita auxiliar às plantas na adaptação em campo e a condições de déficit hídrico.

Assim, as características indesejáveis observadas durante o período de adaptação das mudas de macaúba nos diferentes estádios de produção a que são submetidas durante seu desenvolvimento sugere encontrar métodos que aumentem as possibilidades de sobrevivência das mudas em campo para todos os fatores que afetam suas funções fisiológicas. A nutrição mineral em mudas cumpre um papel essencial nas altas produtividades obtidas quando levadas para condições de campo, assim como também em conjunto com as condições ambientais é responsável pela qualidade das plantas. Este fator está diretamente relacionado com os processos de fotossíntese e respiração, e da mesma forma, ao crescimento e desenvolvimento das plantas (LARCHER, 2006).

Considerando que as zonas de produção comercial da macaúba atualmente encontra-se em solos considerados tropicais, se faz necessário um acurado processo de rustificação, visando aumentar as concentrações dos nutrientes nas células das plantas para desta forma incrementar a qualidade das mudas e por consequência, preparar a muda fisiologicamente para melhorar a adaptação desta às condições de campo (CARNEIRO, 1995). É durante o processo de rustificação que acontece o engrossamento do estipe e o desenvolvimento radicular, de tal forma a aumentar a resistência das mudas ao estresse do transplante em campo (FERRARI, 2003). O objetivo desse trabalho foi desenvolver um protocolo de rustificação por meio da alteração da aplicação de potássio que permita a melhor adaptabilidade das mudas em campo e aumente a sobrevivência e o bom desenvolvimento das mesmas.

## **2. MATERIAIS E METODOS**

### **2.1. Procedimentos Experimentais**

O experimento iniciou-se em 24 de fevereiro de 2016 com a semeadura das sementes pré-germinadas em substrato Plantmax, o qual foi alocado em tubetes de papel biodegradável. Os tubetes possuíram dimensões de 100 mm de altura e 50 mm de diâmetro e foram acondicionados em bandejas de plástico com capacidade para 96 tubetes.

A partir dos 15 dias após semeadura deu-se início às adubações normalmente utilizadas na empresa Acrotech para a produção de mudas de macaúba. As mudas permaneceram dentro de estufa até os 90 dias após semeadura. Aos 75 dias após semeadura iniciou-se a aplicação dos tratamentos de adubação para a rustificação nutricional das mudas e ao cumprirem-se os 90 dias foi realizada a primeira coleta de dados e logo em seguida as mudas foram transplantadas para o viveiro a pleno sol. O experimento finalizou em 25 de maio de 2016.

A segunda análise foi realizada aos 8 meses das mudas em viveiro a pleno sol, ou seja, aos 11 meses de vida das mudas. Foram amostradas 5 mudas por tratamento às quais foram realizadas análises das características morfológicas. Foram avaliadas 13 variáveis morfológicas no total (Altura de planta, diâmetro do estipe, comprimento da parte aérea e raiz e peso da matéria fresca e seca das folhas, estipe, raiz e bulbo e distribuição dos assimilados).

### **2.2. Tratamentos**

O plano de adubação completo utilizado na produção de mudas de macaúba é aplicado por médio de fertirrigação durante o estágio de pré-viveiro em ambiente controlado de 15 em 15 dias, seguindo a recomendação conforme a Tabela 9.

**Tabela 9.** Adubação utilizada durante a produção de mudas de macaúba *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., na fase de pré-viveiro.

Fonte de Nutriente	Concentração (g/L)
Uréia	1,5
KCl	2,5
MgSO <sub>4</sub>	0,9
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,9
ZnSO <sub>4</sub>	1,5
CuSO <sub>4</sub>	2,1

Os tratamentos foram aplicados aos 15 dias antes do transplântio (75 dias após semeadura) do ambiente controlado para o viveiro a pleno sol e compreendem alteração da quantidade de potássio em cada plano de adubação, como apresentado na Tabela 10,

**Tabela 10.** Descrição e tratamentos aplicados durante a rustificação nutricional em mudas de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., na fase de pré-viveiro.

Doses	Descrição
T1	Adubação potássica de 2,25 g/L
T2	Adubação potássica de 2,50 g/L
T3	Adubação potássica de 2,75 g/L
T4	Adubação potássica de 3,50 g/L

### 2.2.1. Análises dos Tecidos vegetais

Foram coletadas amostras das folhas (haste principal + folíolos), estipe e raiz das plantas para a determinação de macro e micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Fe e Zn). As amostras foram secas em estufas com circulação forçada de ar à temperatura de 65 °C até atingir massa constante. Em seguida, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey e

submetidas à digestão nítrico-perclórica, para determinação dos macronutrientes, exceto N, e micronutrientes, exceto B (JOHNSON E ULRICH, 1959). No extrato foram determinados os teores de P, utilizando método da vitamina C, a qual faz a redução do fosfomolibdato e determinado por colorimetria, modificado por Braga e Defelipo (1974). O K foi determinado utilizando o processo de fotometria de chama. O Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn foi determinado utilizando o método de espectrometria de absorção atômica (AOAC, 1975) e o S foi determinado pelo método de turbidimetria do sulfato (Jackson, 1958). O N foi determinado submetendo o material vegetal a digestão sulfúrica (Jackson, 1958) e a extração do N é realizado utilizando o método de Kjeldahl e posteriormente a quantificação do nutriente é realizada por titulometria como proposto por Brenner (1965) e B foi determinado pelo método de calcinação e solubilização das cinzas com ácido clorídrico e quantificado por colorimetria.

O conteúdo de cada nutriente em cada parte da planta foi calculado pelo teor de cada nutriente multiplicado pela quantidade do material vegetal seco utilizado no processo.

### **2.3. Modelo Estatístico**

O experimento foi conduzido utilizando um delineamento com blocos casualizados (DBC). Foram utilizados 4 tratamentos distribuídos em 4 blocos, ao todo foram 240 mudas, 15 plantas por parcela em 16 unidades experimentais.

A análise estatística foi realizada baseando-se no desenho experimental (DBC) com informações dentro das parcelas em razão das repetições tomadas dentro de cada bloco (2 plantas por parcela). Foi realizada uma análise de variância para cada uma das treze variáveis com o objetivo de determinar a possível existência de diferença significativa entre os tratamentos aplicados. Posteriormente, para as variáveis que apresentaram diferença significativa foi aplicada análise de regressão.



### 3. RESULTADOS

As análises estatísticas foram realizadas para 14, 15 e 7 variáveis de importância nas coletas aos 3, 11 e 20 meses de vida das mudas, respectivamente. As variáveis analisadas foram: número de folhas, altura da parte aérea, comprimento de raiz, diâmetro do estipe, biomassa fresca e seca de folhas, estipe e raiz, percentagem de assimilados acumulados na folha, estipe e raiz e em adicional análises de biomassa fresca e seca do bulbo e percentagem do mesmo foram realizados na coleta dos 11 meses após semeadura. Já para os 20 meses, as análises foram mais reduzidas devido a que não foi realizada análise destrutiva das mudas, assim a análises de qualidade foi baseada em diâmetro e comprimento do estipe e folhas.

Com a finalidade de diminuir a amplitude dos dados, o qual pode afetar a análise estatística destes, foram eliminados dados que estavam extremamente distanciados da média aritmética. Para isso, foi utilizado o intervalo de confiança como método de referência, desta forma aqueles dados que estiveram fora do intervalo foram excluídos das análises estatísticas.

As coletas foram realizadas aos 3 meses após semeadura, quando as mudas saíram da estufa e foram levadas para o viveiro a pleno sol, a segunda coleta foi realizada aos 8 meses de estarem em viveiro a pleno sol (11 meses após semeadura) quando as mudas foram levadas do viveiro a pleno sol para o campo e a terceira foi realizada aos 9 meses das mudas estarem em campo (20 meses após semeadura).

#### 3.1. Análises aos 3 meses (90 dias)

Quatro das treze variáveis apresentaram diferença significativa no nível de 5 % de probabilidade; biomassa fresca de folha (ANOVA:  $F = 4,331$ ;  $p < 0,05$ ;  $CV = 28$  %), biomassa fresca do estipe (ANOVA:  $F = 4,396$ ;  $p < 0,05$ ;  $CV = 21$  %), biomassa fresca da raiz (ANOVA:  $F = 1,485$ ;  $p < 0,05$ ;  $CV = 36$  %) e biomassa seca da raiz (ANOVA:  $F = 4,725$ ;  $p < 0,05$ ;  $CV = 48$  %), como apresentado na Tabela 11.

**Tabela 11.** ANOVA da Biomassa Fresca da Folha, Biomassa Fresca do estipe, Biomassa fresca da raiz e Biomassa seca da raiz, aos 3 meses após a semeadura de mudas de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., sob diferentes condições de adubação potássica para rustificação das mudas na fase de pré-viveiro.

GL: Graus de liberdade; SQ: Soma dos quadrados; QM: Quadrado médio; F: Estatística F; P: p-valor

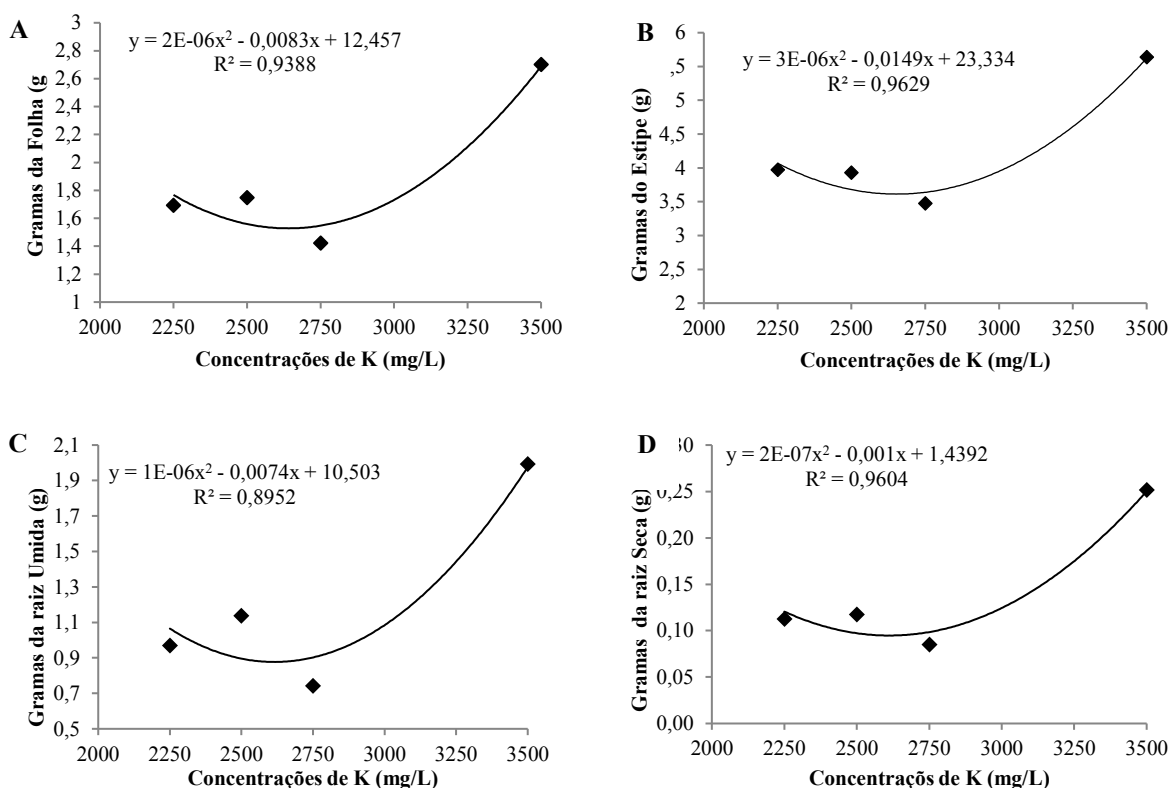
<b>Biomassa Fresca da Folha</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Blocos	3	3,1669	1,056		
Doses	3	7,4850	2,495	4,331	0,03780 *
Erro entre parcelas	9	5,1843	0,576		
Erro dentro de parcelas	16	10,7377	0,671		
CV			28,39		
<b>Biomassa Fresca do Estipe</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Blocos	3	12,7153	4,238		
Doses	3	21,6956	7,232	4,396	0,03642 *
Erro entre parcelas	9	14,8068	1,645		
Erro dentro de parcelas	16	50,3026	3,144		
CV			21,33		
<b>Biomassa Fresca da Raiz</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Blocos	3	1,5409	0,514		
Doses	3	7,1639	2,388	6,119	0,01485 *
Erro entre parcelas	9	3,5125	0,390		
Erro dentro de parcelas	16	9,9152	0,620		
CV			36,50		
<b>Biomassa Seca da Raiz</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Blocos	3	0,0374	0,012		
Doses	3	0,1335	0,044	4,725	0,030247 *
Erro entre parcelas	9	0,0847	0,009		
Erro dentro de parcelas	16	0,2195	0,013		
CV			110,95		

Para as variáveis que demonstraram diferença estatística significativa na análise de variância foram realizadas análises de regressão para verificar diferença entre os tratamentos.

Todas as variáveis às quais foram aplicadas as análises de regressão, apresentaram

comportamento quadrático. Assim, todas as variáveis apresentaram um decréscimo no acúmulo de biomassa fresca na folha, estipe e raiz e biomassa seca da raiz quando a concentração de potássio passou de 2500 mg L<sup>-1</sup> para 2750 mg L<sup>-1</sup>. No entanto, foi observado aumento do acúmulo de biomassa fresca e seca quando a concentração passou de 2750 mg L<sup>-1</sup> para 3500 mg L<sup>-1</sup> de K (Figura 28).

O tratamento 4 (T4) representou um aumento da concentração de K de 1000 mg L<sup>-1</sup> em relação à testemunha. Isto representou um aumento de 0,9 g de biomassa fresca acumulada da folha (Figura 28A), 1,71 g de biomassa fresca acumulada de estipe (Figura 6B), e 0,86 g de biomassa fresca de raiz em relação à biomassa fresca acumulada destes nas mudas testemunha. Em relação a biomassa fresca de raiz, o acúmulo representou a menor diferença entre os tratamentos quando comparado com as outras partes das plantas, o que explica o R<sup>2</sup> = 0,8992 ser o menor dentre as variáveis que apresentaram diferença significativa (Figura 28C)



**Figura 28.** Comportamento das análises de regressão das variáveis **A.** Biomassa Fresca da Folha, **B.** Biomassa fresca do estipe, **C.** Biomassa fresca da raiz e **D.** Biomassa seca da raiz de mudas de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., aos 3 meses após semeadura e aos 15 dias da aplicação das diferentes concentrações de potasio na fase pré-viveiro.

Já o acúmulo de biomassa seca da raiz no T4 foi de 0,25 g, representando 0,14 g a mais do que a biomassa seca acumulada na raiz das mudas da testemunha, o qual apresentou um

acúmulo de 0,11 g (Figura 28D).

As análises nutricionais foram realizadas para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn, Fe e Zn em folha e para P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn, Fe e Zn na raiz aos 90 dias após semeadura dentro do ambiente controlado, ou seja, 15 dias após a aplicação das diferentes doses de K.

Os resultados da ANOVA demonstraram diferenças significativas no conteúdo de P, K, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn nas folhas (Tabela 12).

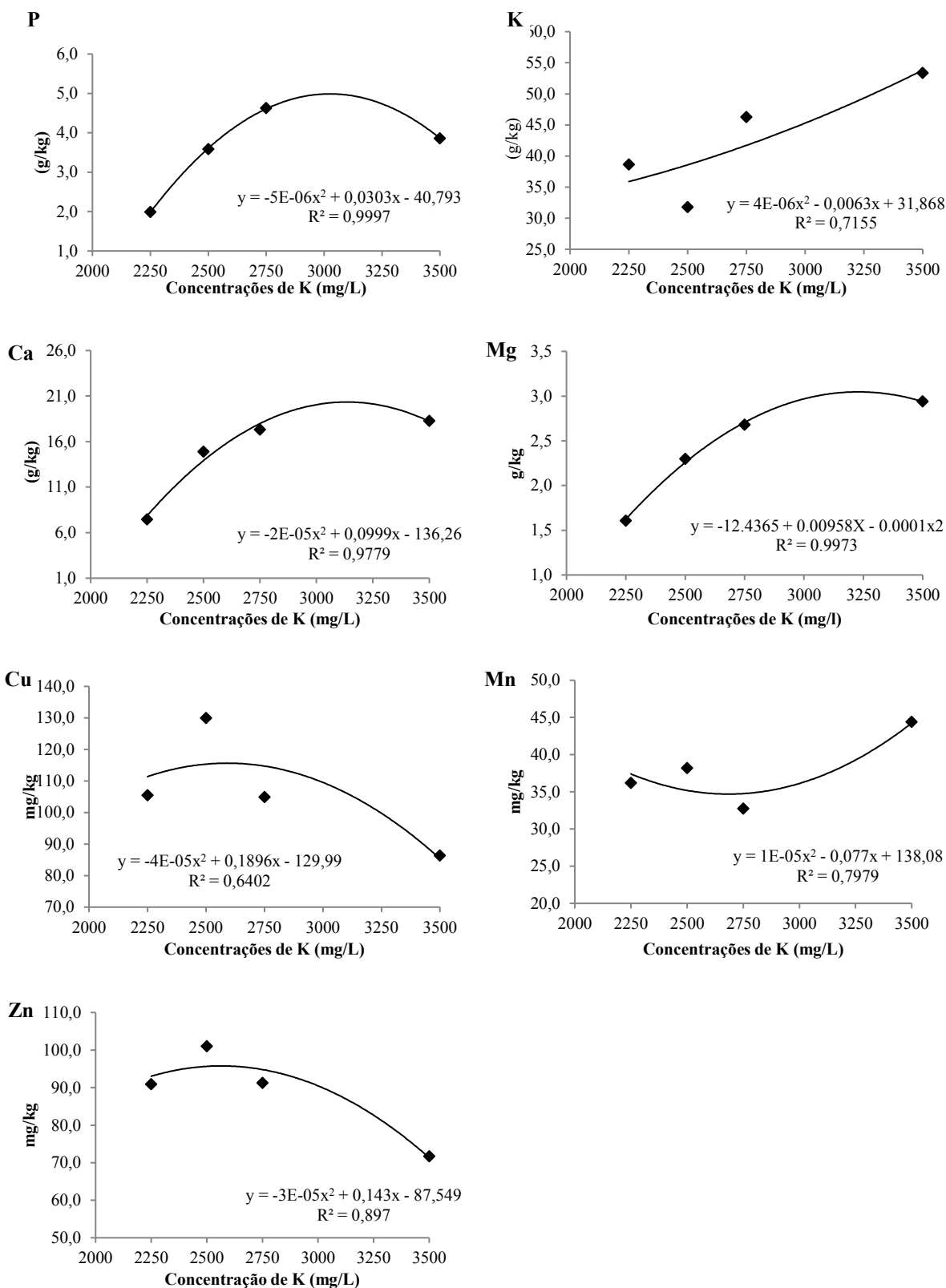
**Tabela 12.** Quadrados médios significativos como resultado da ANOVA da análise foliar de mudas de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., após aplicação de diferentes concentrações de K aos 90 dias em fase pré-viveiro.

GL: Graus de liberdade

QUADRADOS MEDIOS NAS FOLHAS								
	GL	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn
Blocos	3	0,602	161,743	1,673	0,101	227,236	16,314	10,380
Tratamentos	3	4,908 *	411,678 *	95,919 *	1,342 *	3286,969 *	96,262 *	595,451 *
Residuo	9	0,847	91,267	22,052	0,152	215,463	21,203	126,878

Para os nutrientes que apresentaram diferença significativa foi aplicado análise de regressão linear simples para analisar a relação entre a aplicação de diferentes doses de potássio em mudas de macaúba em fase de pré-viveiro e as concentrações dos outros nutrientes dentro das plantas.

Assim, a análise de regressão demonstrou um comportamento direto ou positivo para P, K, Ca, Mg e Mn (Figura 39), com um leve decréscimo do conteúdo de P quando aumentada a doses a 3500 mg L<sup>-1</sup>. Por outra parte, Cu e Zn apresentaram comportamento inverso ou negativo, o qual demonstrou que ao aumentar as concentrações de K, o conteúdo de estes dois nutrientes na folha diminuiu.



**Figura 39.** Análise de regressão dos nutrientes: Fosforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Cobre, Manganês e Zinco presentes na folha de mudas de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., aos 3 meses após semeadura (15 dias após a aplicação das diferentes concentrações de potasio) na fase pré-viveiro.

### 3.2. Análises aos 8 meses em Viveiro (11 meses após semeadura)

Durante esta análise foram avaliadas 17 variáveis, tanto morfológicas como fisiológicas (Número de folhas, altura da parte aérea, comprimento de raiz, diâmetro do estipe, biomassa fresca da folha, estipe, bulbo e raiz, biomassa seca de folha, estipe, bulbo e raiz, percentagem de biomassa acumulada em folha, estipe e raiz, diâmetro da folha mais velha e tamanho da folha lança), como apresentado na Tabela 13.

Treze destas variáveis não demonstraram diferenças estatísticas significativas, demonstrando assim, que não existe relação entre estas variáveis e a aplicação de K aos quinze dias antes do transplante para o viveiro, assim como tampouco das diferentes concentrações de K nesta fase de produção. Quatro destas variáveis apresentaram diferença estatística significativa com um valor de significância de 5 %; biomassa fresca do bulbo (ANOVA:  $F = 9,2297$ ;  $p < 0,05$ ; CV = 19 %), biomassa seca da raiz (ANOVA:  $F = 5,352$ ;  $p < 0,05$ ; CV = 22 %), diâmetro da folha mais velha (ANOVA:  $F = 4,0714$ ;  $p < 0,05$ ; CV = 10 %) e tamanho da folha lança (ANOVA:  $F = 12,5407$ ;  $p < 0,05$ ; CV = 20 %).

**Tabela 13.** ANOVA das variáveis Biomassa Fresca do Bulbo, Biomassa Seca da Raiz, Comprimento da Folha mais velha e Comprimento da folha lança, aos 11 meses após a semeadura de mudas de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., sob diferentes condições de adubação potássica para rustificação das mudas na fase de pré-viveiro.

GL: Graus de liberdade; SQ: Soma dos quadrados; QM: Quadrado médio; F: Estatística F; P: p-valor

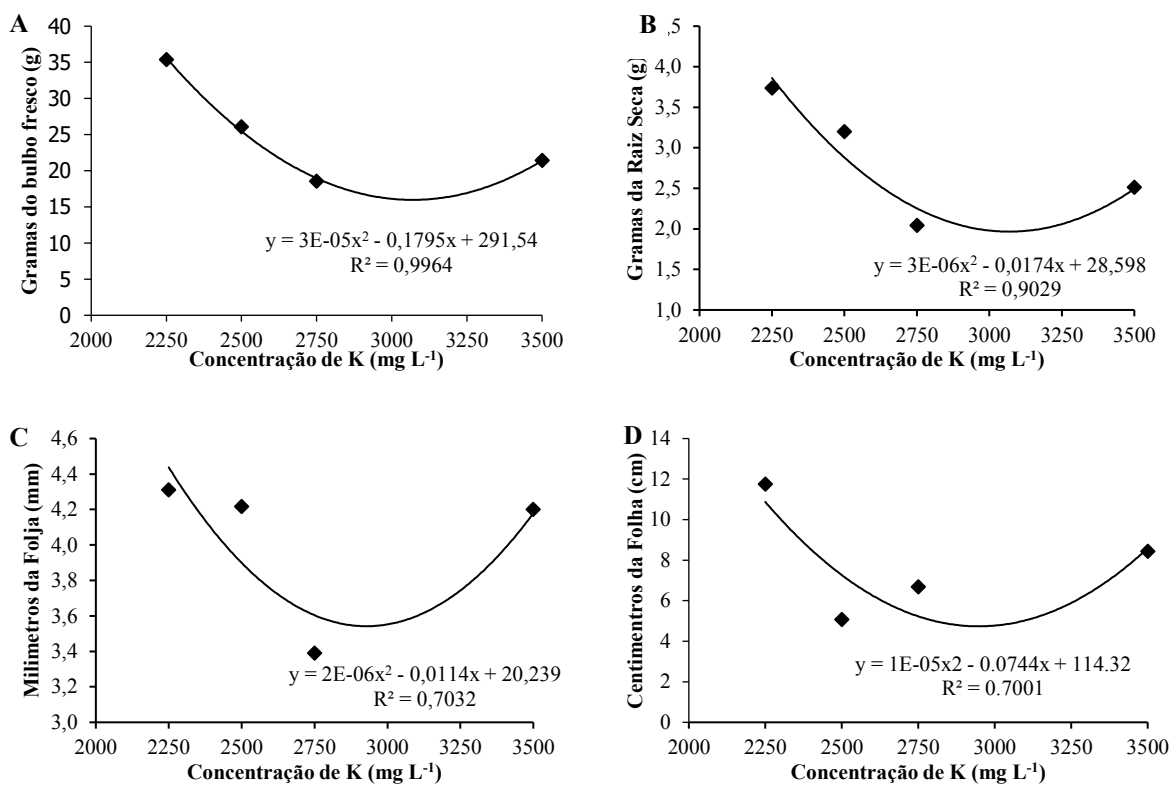
<b>Biomassa Fresca do Bulbo</b>						
	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	
Blocos	3	101,1909	33,7303			
Doses	3	1300,4151	433,4717	9,2297	0,0041	*
Erro entre parcelas	9	422,6828	46,9647			
Erro dentro de parcelas	16	187,4859	11,7178			
CV			43,24			
<b>Biomassa Seca da Raiz</b>						
Blocos	3	2,3786	0,7928			
Doses	3	13,3198	4,4399	5,352	0,00216	*
Erro entre parcelas	9	7,4662	0,8295			
Erro dentro de parcelas	16	11,8682	0,7417			
CV			39,32			

<b>Comprimento da Folha mais Velha</b>						
Blocos	3	1,1694	0,3898			
Doses	3	4,4036	1,4678	4,0714	0,0405	*
Erro entre parcelas	9	3,2447	0,3605			
Erro dentro de parcelas	16	11,9185	0,7449			
CV			16,96			
<b>Comprimento da Folha Lança</b>						
Blocos	3	38,525	12,8416			
Doses	3	196,2525	65,4175	12,5407	0,0144	*
Erro entre parcelas	9	46,9475	5,2163			
Erro dentro de parcelas	16	81,27	5,0793			
CV			29,12			

Para as variáveis que apresentaram diferença estatística significativa na análise de variância ANOVA, foi aplicada análise de regressão para estimar a relação direta entre a concentração de K e o acúmulo de biomassa fresca no bulbo, biomassa seca da raiz, diâmetro da folha mais velha e comprimento da folha lança (Figura 40).

Foram realizadas análise de variância ANOVA para o conteúdo dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn, Fe e Zn, na folha e raiz com o objetivo de encontrar possíveis relações do comportamento nutricional das mudas de macaúba aos 8 meses depois da aplicação das diferentes concentrações de K.

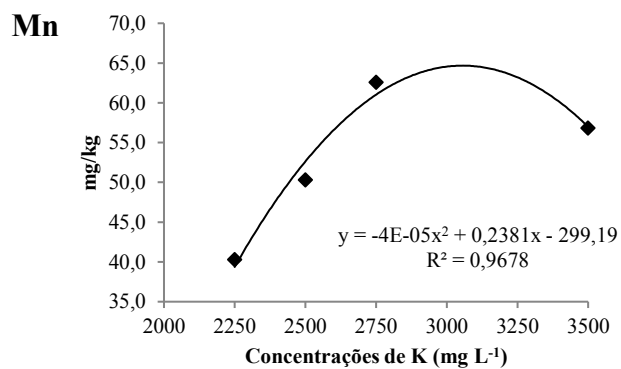
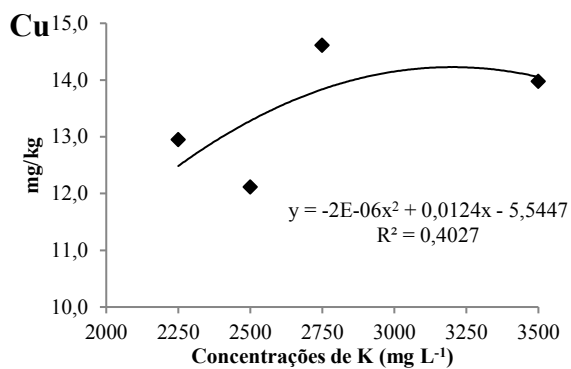
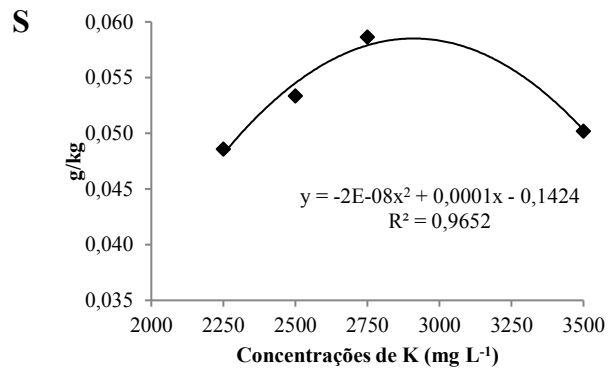
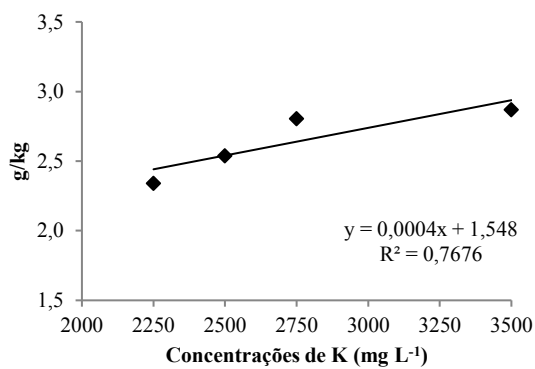
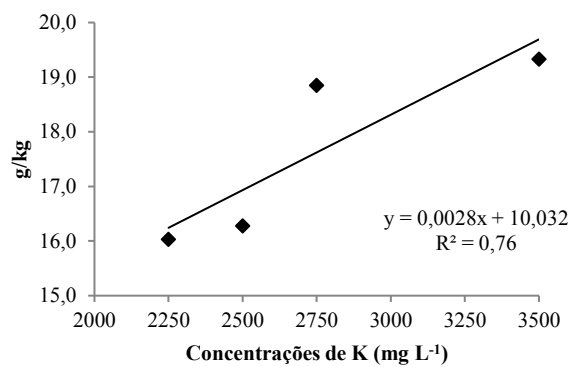
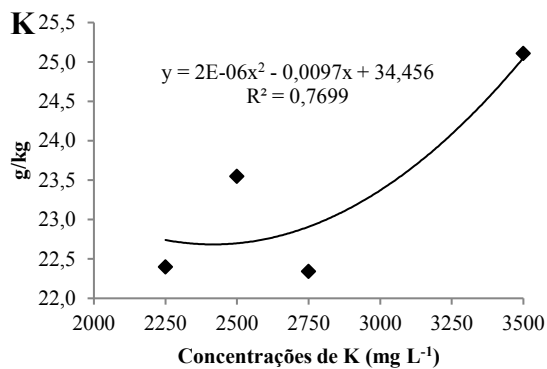
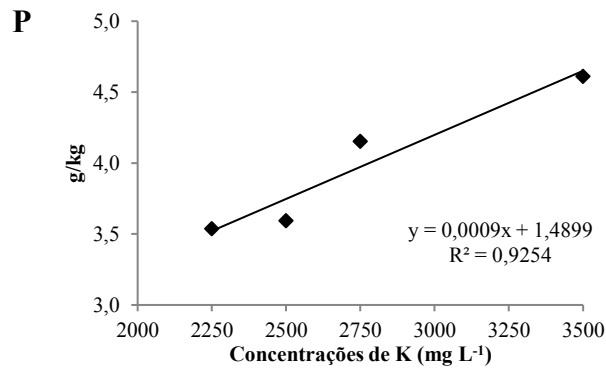
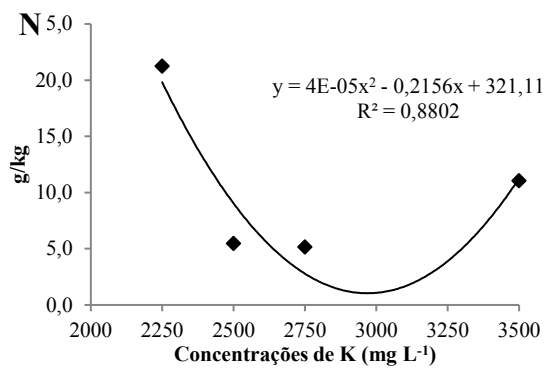
Os resultados demonstraram diferencia significativa para todas os nutrientes avaliados nas mudas de macaúba (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn, Fe e Zn) tanto na folha quanto na raiz. Em seguida, foram realizadas análise de regressão linear simples dos nutrientes para avaliar o comportamento da relação entre o conteúdo dos nutrientes e as concentrações de K aplicadas aos 15 dias antes do transplântio para viveiro.

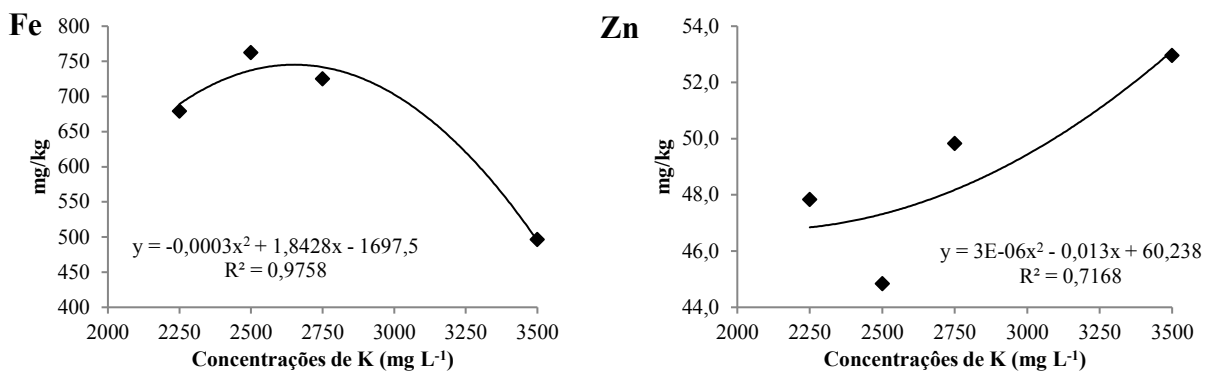


**Figura 40.** Comportamento das variáveis A. Biomassa Fresca do Bulbo, B. Biomassa Seca da Raiz, C. Diâmetro da Folha mais Velha e D. Comprimento da folha Lança de mudas de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., aos 11 meses após sementeira e aos 8 meses da aplicação das diferentes concentrações de potasio na fase pré-viveiro.

Os resultados da análise de regressão linear simples nas folhas demonstraram que os nutrientes P, K, Ca, Mg, S, Mn e Zn, apresentaram relação direta entre o conteúdo destes e as concentrações de K (Figura 41). Já o N e o Fe por sua parte, apresentaram relação inversa entre o conteúdo destes nas folhas e as diferentes concentrações de K. O Cu apresentou um comportamento diferenciado com respeito ao comportamento dos outros nutrientes, no qual o conteúdo de Cu diminuiu quando a concentração passou de 2250 a 2500 mg L<sup>-1</sup> e logo em seguida aumentou o conteúdo de Cu nas folhas quando a concentração passou de 2500 a 2750 mg L<sup>-1</sup> e novamente apresentou decréscimo no conteúdo de Cu quando a concentração de K passou de 2750 a 3500 mg L<sup>-1</sup>.







**Figura 41.** Análise de regressão linear simples dos nutrientes Nitrogênio, Fosforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Enxofre, Cobre, Manganês, Ferro e Zinco presentes na folha de mudas de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., aos 11 meses após semeadura (8 meses após a aplicação das diferentes concentrações de potasio) na fase viveiro.

A composição nutricional nos tecidos vegetais da folha apresentaram em sua grande maioria diferenças significativas. A forma de comparação ressaltaram os resultados significativos na análise de regressão simples para ambas as colheitas. Dentre os macronutrientes, ressaltou-se o P, K, Ca e Mg. O P apresentou maior conteúdo acumulado na folha para três das concentrações utilizadas 2250, 2750 e 3500 mg L<sup>-1</sup> aos 8 meses de idade depois da aplicação das concentrações de K. Na concentração de 2500 mg L<sup>-1</sup> não apresentou diferença quando comparada a colheita aos 3 e 8 meses. O K, apresentou um decréscimo no conteúdo nas folhas desde a avaliação dos 3 meses até 8 meses, no entanto, para ambas as idades apresentou um comportamento positivo a medida que aumentaram as concentrações de K. O Ca e o Mg tiveram comportamentos similares; ambos apresentaram maior conteúdo acumulado nas mudas aos 8 meses de idade quando comparado com as mudas com 3 meses de idade. O incremento do conteúdo de Ca e Mg foi mais expressivo na concentração de K de 2250 mg L<sup>-1</sup>, mas para ambas as colheitas expressaram uma relação positiva, mas o Mg não apresentou aumento significativo no conteúdo nas folhas nas outras concentrações de K.

Na segunda coleta, apenas os micronutrientes Cu, Mn e Zn, apresentaram diferença significativa e aos 8 meses todos os micronutrientes apresentaram diferenças significativas para os conteúdos das folhas para as diferentes concentrações. Na comparação entre as duas coletas o Cu apresentou diminuição do conteúdo, além disso o comportamento na análise de regressão linear simples foi diferente para ambas as coletas. O conteúdo de Mn nas folhas apresentou uma diminuição na concentração de 2750 mg L<sup>-1</sup>, mas apresentou aumento na concentração de 3500 mg L<sup>-1</sup> de K. Já aos 8 meses a relação do conteúdo de Mn na folha com a concentração de K foi positiva, mas no aumento de 3500 mg L<sup>-1</sup> apresentou decréscimo de

Mn, no entanto, o conteúdo de Mn acumulado nos tecidos folhares aumentou com a idade. No caso do Zn, o comportamento em ambas as idades foi diferente, sendo assim aos três meses o conteúdo de Zn nas folhas foi negativa, mas aos 8 meses apresentou relação positiva, aumentando o conteúdo Zn a medida que aumentou a concentração de K, no entanto, o acúmulo do conteúdo de Zn apresentou relação inversa com a idade, pois este foi maior aos 3 meses do que aos 8 meses.

### **3.3. Análise dos 9 meses em campo (20 meses após semeadura)**

A terceira coleta foi realizada aos 9 meses do transplântio das mudas do viveiro para o campo. As coletas não foram compostas de análise destrutiva, ou seja, não foram coletadas informações de biomassa fresca e seca. De esta forma coletaram-se informações que foram consideradas de importância do estado de qualidade das mudas. As variáveis avaliadas foram: altura da parte aérea, comprimento do estipe, diâmetro do estipe, comprimento da folha mais velha, número de folas definitivas, número de folíolos na folha mais velha e número de folíolos na folha mais velha.

As variáveis avaliadas na terceira coleta não apresentaram diferença estatística significativa, o qual demonstra nenhuma relação entre estas variáveis estudadas e a concentração de K aplicada 15 dias antes do transplântio das mudas do ambiente controlado para o viveiro a pleno sol.

## 4. DISCUSSÃO

Os resultados sugerem que existe um eficiente efeito das adubações potássicas com concentrações acima de  $2750 \text{ mg L}^{-1}$ , e que estes podem causar aumento da retenção de água em mudas de macaúba na fase pré-viveiro. O aumento da biomassa fresca da folha, estipe e raiz aos 15 dias após a adubação potássica refletidos neste estudo, indicam o efeito positivo deste tipo de adubação em mudas de macaúba, em razão do aumento da retenção de água dentro da planta, ou seja, um resultado favorável na regulação osmótica e no potencial hídrico folhar, o que potencialmente ajuda a aumentar a qualidade da planta e a resistência a condições de estresse.

Ao considerar que a velocidade de resposta das mudas de macaúba a adubação potássica neste experimento foi rápida, difere do encontrado por Corley e Tinker, (2003), quem afirmam que as palmeiras são altamente sensíveis às deficiências nutricionais, mas que estas possuem uma resposta lenta à adubação. Por outra parte, esse resultado positivo das mudas à adubação concorda com o trabalho realizado por Pimentel (2016), quem em um trabalho onde avaliou a resposta desta espécie a diferentes níveis de fertilização em condições de viveiro, concluiu que a macaúba é uma espécie que possui uma alta capacidade de resposta à adubação. Assim, grande parte da qualidade das mudas de macaúba depende principalmente da fertilização aplicada, responsáveis pelo crescimento e a formação do sistema radicular (JÚNIOR et al., 2007; PIMENTEL et al., 2016).

Os resultados aos 8 meses não apresentaram um sequenciamento com os resultados obtidos aos 3 meses, pois nesta fase não houve diferença significativa no acúmulo de biomassa em folhas e estipe, mas sim no acúmulo de biomassa fresca no bulbo e biomassa seca da raiz. Motta et al., (2002), afirma que em geral, plantas de macaúba apresentam alta demanda de potássio, pois em zonas onde existia ocorrência natural da macaúba, estes eram caracterizados pelas altas concentrações de potássio. Os resultados demonstraram que as mudas sob a concentração de  $2250 \text{ mg L}^{-1}$  de K apresentaram melhores resultados aos 8 meses de permanência no viveiro a pleno sol do que as mudas sob a concentração de  $2500 \text{ mg L}^{-1}$  de K (Testemunha). Este resultado sugere que uma diminuição de  $250 \text{ mg L}^{-1}$  na concentração de K, além de apresentar efeito positivo no desenvolvimento das mudas de macaúba neste estágio de crescimento permitiria diminuir insumos e conseqüentemente, repercutiria nos gastos econômicos em plantios comerciais.

O acúmulo de maior biomassa seca na raiz em condições das mais elevadas concentrações de K durante este experimento, pode estar relacionado com a maior velocidade de crescimento e desenvolvimento em relação aos outros órgãos das plantas, já que permite constantemente uma atividade mais efetiva quando em condições favoráveis, assim, em muitas espécies de Arecaceas, as partes mais jovens das raízes são mais ativas na absorção de nutrientes (KHEONG et al., 2010; JOURDAN; REY, 1997). O potássio, nitrato, amônio e fosfato podem ser absorvidos livremente em todos os locais da superfície da raiz (CLARKSON, 1985). Isso colabora para o maior fluxo de entrada destes nutrientes nas raízes. Num estudo sobre a morfologia das raízes de palmeiras oleaginosas, Ruer (1967), demonstrou que parte das raízes da palma de óleo estão formadas por células aerenquimáticas. Estas células estão caracterizadas por possuir espaços vazios entre elas e, desta forma, podem conter ar, água e nutrientes. Além disso, o mesmo autor afirma que foi observado espaços vazios na estrutura da raiz, sendo considerado como o espaço que as células aerenquimáticas deixam quando estas morrem. Esta afirmação foi confirmada por Kheong et al, (2010), quem em um trabalho sobre o processo de absorção de nutrientes pelas raízes de palma de óleo, constatou que uma grande quantidade da solução nutritiva é alocada nestes espaços vazios das raízes e que ao analisar a solução descobriu que o potássio era o nutrientes com a maior alocação. Estes espaços na estrutura da raiz estão interconectados, criando uma espécie de tuneis dentro da raiz, estendendo-se desde as partes mais velhas da raiz até as partes mais jovens, a qual é considerada a parte ativa da raiz e onde o nutriente é absorvido. Isso pode explicar o fato da raiz ter apresentado maior biomassa seca acumulada, pois este tende a acumular maior potássio na sua estrutura e em razão da produção de matéria seca depender da eficiência da conversão de radiação fotossinteticamente ativa interceptada e do efeito do potássio participar ativamente na atividade fotossintética (SIVAKUMAR; GOMMES; BAIER, 2000), provavelmente ajudou na aceleração dos processos metabólicos e da alocação nutricional acontecer primeiro na raiz para depois serem transloucados para o estipe e folhas.

Acredita-se que as diferenças significativas da espécie neste experimento, podem estar relacionada à variabilidade genética, visto que são mudas seminais e não clonais. Prieto Martinez et al., (2003), afirma que vários são os fatores inerentes ou não à própria planta que podem alterar o conteúdo nutricional nos tecidos vegetais das mesmas, seja pela variabilidade genética, estágio vegetativo, idade, desenvolvimento radicular, assim como também por fatores ambientais como a temperatura, irrigação, fertilização e interações entre os nutrientes, podendo apresentar-se antagonismo e/ou compatibilidade entre eles (relação direta ou

indiretamente proporcional ao aumento de um ou outro nutriente). De acordo com a fase de desenvolvimento da cultura e do nutriente, a absorção de nutrientes é intensificada, especialmente na fase de frutificação, assim na análise nutricional deverá ser considerada o estágio de crescimento, já que durante o desenvolvimento é alterada a transferência de nutrientes, assim como o acúmulo destes nos diferentes órgãos das plantas (MALAVOLTA; VITTI & OLIVEIRA, 1997).

## 5. CONCLUSÃO

✓ A aplicação de K nas concentrações de 2250, 2500, 2750 e 3500 mg L<sup>-1</sup> em mudas de *Acrocomia aculeata* aos 15 dias antes do transplântio do ambiente controlado para o viveiro a pleno sol não demonstra nenhum efeito e/ou relação significativa para as variáveis altura da parte aérea, comprimento do estipe, diâmetro do estipe, comprimento da folha mais velha, número de folhas definitivas, número de folíolos na folha mais velha e número de folíolos na folha mais velha aos 19 meses de vida das plantas.

✓ Mudas de *Acrocomia aculeata* apresentaram resposta positiva às aplicações de K com concentração de 3500 mg L<sup>-1</sup> no acúmulo de biomassa fresca em folhas, estipe e raiz aos 15 dias depois de realizadas as aplicações (75 dias após a semeadura), mas este efeito não significou melhoria na qualidade das mudas quando avaliadas aos 8 meses após a aplicação da adubação potássica.

✓ Adubações com concentração de potássio de 2250 mg L<sup>-1</sup> aos 15 dias que antecedem o transplântio para o viveiro a pleno sol, apresentaram maior acúmulo de biomassa seca nas raízes, assim como o melhor desenvolvimento e engrossamento das folhas quando avaliadas 8 meses após as adubações.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ARRUDA, S.; MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação potássica em eucalyptus *Informações Agronômicas*, 2000. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/ilahp.nsf/0/10ABE414BEFBEA76852579A300790376/\\$FILE/Nutrición y fertilización eucalipto.pdf](http://www.ipni.net/publication/ilahp.nsf/0/10ABE414BEFBEA76852579A300790376/$FILE/Nutrición%20y%20fertilización%20eucalipto.pdf)>

BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. 1974. **Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal**. R. Ceres, v. 21. p. 73-85.

BREMER, J (1965). Biochim. Biophys. Acta 104, p. 581

CARNEIRO, J.G. A. Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Curitiba: UFPR/FUPEF; Campos: UENF, 1995, 451p.:il.

CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. *The Oil Palm*, 2003.

CLARKSON, D.T. Adaptações morfológicas e fisiológica das plantas a ambientes de baixa fertilidade. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 16. Ilhéus. 1985. *Anais. Ilhéus*, CEPLAC/BCS, 1985. p. 45-75.

D'AVILA, F. S. et al. Efeito do potássio na fase de rustificação de mudas clonais de eucalipto. *Revista Árvore*, v. 35, n. 3, p. 13–19, 2011.

DA MOTTA, P. E. F. et al. Occurrence of macauba in Minas Gerais, Brazil: relationship with climatic, pedological and vegetation attributes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, n. 7, p. 1023–1031, 2002.

DICKSON ET AL. Quality Appraisal of White Spruce and White Pine Seedling Stock in Nurseries '. *Forest Chronicles*, p. 10–13, 1960.

FERRARI, M. P. **Cultivo do eucalipto: produção de mudas**. Colombo: PFB, 2003. Disponível em <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto/03\\_01\\_sementes.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto/03_01_sementes.htm)> acesso 06/29/2018

JACKSON, M. L.: Soil chemical analysis. Verlag: Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ. 1958, 498 S. DM 39.40

JOHNSON, C. M., AND A. ULRICH. 1959. Analytical method for use in plant analysis. Calif. Agr. Exp. Sta. Bull. 766: 25-78.

JOURDAN, C.; REY, H. Modelling and simulation of the architecture and development of the oil-palm (t *Elaeis guineensis* Jacq.) root system. *Plant and Soil*, v. 190, p. 217–233, 1997.

JÚNIOR, A. W. et al. Substratos na formação de mudas para pessegueiro. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 29, n. 4, p. 569–572, 2007.

KHEONG, L. V. et al. Nutrient absorption by oil palm primary roots as affected by empty fruit bunch application. *Journal of Oil Palm Research*, v. 22, n. APRIL, p. 711–720, 2010.



LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: Ed. Rima, 2006. 550p.

LEIGH, R. A.; JONES, R. G. W. A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. **New Phytol**, v. 97, n. 1, p. 1–13, 1984.

MALAVOLTA, E. ; VITTI, G. C. & OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed., rev. e atual., Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319p

NOGUEIRA, L.; INCKOT, R. C.; SANTOS, G. O.; SOUZA, L. A. & BONA C. Fitotoxicidade do solo contaminado por petróleo e biorremediado em *Allophylus edulis*. *Rodriguésia*, v. 62: p. 459-466, 2011.

PIMENTEL, L. **Nutrição Mineral Da Macaúba: Bases Para Adubação E Cultivo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2012.

PIMENTEL, L. D. et al. Substrate, lime, phosphorus and topdress fertilization in macau palm seedling production. **Revista Árvore**, v. 40, n. 2, p. 235–244, 2016.

PRIETO MARTINEZ, H. E. et al. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 38, n. 6, p. 703–713, 2003.

RUER, P. Morphologie et anatomie du système racinaire du palmier à huile. **Oléagineux**, v. 22, n. 10, p. 595 - 599, 1967a.

SIVAKUMAR, M. V. .; GOMMES, R.; BAIER, W. Agrometeorology and sustainable agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 103, n. 1–2, p. 11–26, Jun. 2000.

TAIZ, L., & Zeiger, E. (2009). *Fisiologia Vegetal* (4<sup>th</sup> ed.). Artmed.