

CONCEIÇÃO PAULA BANDEIRA RUFINO



RIO BRANCO - AC

2025

CONCEIÇÃO PAULA BANDEIRA RUFINO

**BIOCARVÃO NA COMPOSIÇÃO DE SUBSTRATO E ADUBAÇÃO  
PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE AÇAIZEIRO-SOLTEIRO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Sebastião E. Araújo Neto  
Co-orientadora: Dra. Aureny M. P. Lunz

RIO BRANCO - AC

2025

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

---

R926b Rufino, Conceição Paula Bandeira, 1991-  
Biocarvão na composição de substrato e adubação para a produção de mudas  
de açaizeiro-solteiro / Conceição Paula Bandeira Rufino; Pro.<sup>º</sup> Dr. Sebastião E.  
Araújo Neto (Orientador; Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Aureny M. P. Lunz (Coorientadora) – 2025.  
84 f.: il.; 30 cm.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal,  
Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre,  
como parte das exigências para a obtenção do título de Doutorado em Produção  
Vegetal.

1. *Euterpe precatoria* Mart. 2. Fertilizante. 3. Carvão vegetal. I. Araújo Neto,  
Sebastião E. (orientador). II. Lunz, Aureny M. P. (coorientadora). III. Título.

---

CDD: 630.8

Bibliotecário: Marcelino G. M. Monteiro CRB-11<sup>º</sup>/258.

CONCEIÇÃO PAULA BANDEIRA RUFINO

## **BIOCARVÃO NA COMPOSIÇÃO DE SUBSTRATO E ADUBAÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE AÇAIZEIRO-SOLTEIRO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, da Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal.

Aprovada em 24 de fevereiro de 2025

### **BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** SEBASTIAO ELVIRO DE ARAUJO NETO  
Data: 25/02/2025 08:10:56-0300  
Verifique em <https://validar.itii.gov.br>

Dr. Sebastião Elviro de Araújo Neto  
Orientador (UFAC)

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** RYCHAELLEN SILVA DE BRITO  
Data: 24/02/2025 15:19:39-0300  
Verifique em <https://validar.itii.gov.br>

Dra. Rychaelen Silva de Brito  
Membro Externo

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** MARCIO CHAVES DA SILVA  
Data: 24/02/2025 23:44:15-0300  
Verifique em <https://validar.itii.gov.br>

Dr. Márcio Chaves da Silva  
Membro (SENAR)

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** UELITON OLIVEIRA DE ALMEIDA  
Data: 24/02/2025 19:44:38-0300  
Verifique em <https://validar.itii.gov.br>

Dr. Ueliton Oliveira de Almeida  
Membro - IFRO

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** ROMEU DE CARVALHO ANDRADE NETO  
Data: 24/02/2025 15:03:49-0300  
Verifique em <https://validar.itii.gov.br>

Dr. Romeu de Carvalho Andrade Neto  
Membro (Embrapa Tabuleiros Costeiros)

À minha filha,  
**Luisa Rufino Firmino,**  
por todo amor e respiração  
Dedico

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, que sempre me abençoou e direcionando pelos caminhos quanto encontrei tantas incertezas.

A minha família, meus pais Walter Wolter Rufino e Luiza de Marilaque Bandeira Rufino, minha filha Luisa Rufino Firmino e meus irmãos, Polinar Bandeira Rufino e Paulino Bandeira Rufino pelo AMOR incondicional, e pelo exemplo de vida que são para mim.

Aos meus orientadores, Dra. Aureny Maria Pereira Lunz, Dr. Romeu de Carvalho Andrade Neto e Dr. Sebastião Elviro Araújo Neto pelos ensinamentos, conselhos, pois acreditou em mim desde o início da minha jornada.

À Universidade Federal do Acre (UFAC) e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, por contribuírem com meu sucesso acadêmico e profissional.

À EMBRAPA Acre pelo apoio logístico e infraestrutura na execução dessa pesquisa.

Aos meus amigos que me ajudaram nessa caminhada e foram pessoa fundamentais para o desenvolvimento desse trabalho: Cleyton Silva de Araújo e Jennyfer Tamara de Lima Barbosa.

Aos parceiros da EMBRAPA Acre: Principalmente a Bolsista PIBIC, Jennyfer Tamara de Lima Barbosa e o Analista Ms. Fernando Pretti Rimério que foram pessoas importantíssimas para a construção dessa pesquisa em campo.

A CAPES pelo auxilio concedido a Bolsa.

## RESUMO

O açaizeiro solteiro (*Euterpe precatoria* Mart.) é uma espécie de grande importância econômica e ecológica, cuja expansão do cultivo depende da produção de mudas de alta qualidade. A escolha adequada de insumos, como substratos e adubação, é essencial para garantir o crescimento vigoroso das mudas e seu bom desempenho em campo. O biocarvão tem se destacado como um condicionador de substrato promissor, capaz de melhorar as condições físico-químicas do solo e favorecer o crescimento das plantas. Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil e de casca de cupuaçu na composição de substrato e sua interação com dois tipos de adubação (fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta) sobre o crescimento, qualidade nutricional e viabilidade econômica na produção de mudas de açaizeiro solteiro (*Euterpe precatoria* Mart.). Dois experimentos foram conduzidos no viveiro sob sombreamento de 70%, Embrapa Acre, utilizando-se delineamento em blocos casualizados com três repetições e oito plantas por parcela. Os tratamentos foram distribuídos em um esquema fatorial  $6 \times 2$ , considerando cinco concentrações de biocarvão produzido a partir da casca da amêndoia da castanha-do-brasil e da casca de cupuaçu, além da testemunha (0, 10, 20, 30, 40 e 50%), e duas formas de adubação: fertilizante convencional NPK + micronutrientes 0,30 g, quinzenalmente e fertilizante de liberação lenta com  $8 \text{ kg.m}^{-3}$  no substrato. Aos 12 meses após a repicagem, foram analisadas variáveis relacionadas ao crescimento e qualidade das mudas, incluindo altura, diâmetro do coleto, relação altura/diâmetro, número de folhas, massas secas das diferentes partes da planta, índice de qualidade de Dickson (IQD), índice SPAD, taxa de crescimento relativo, teores foliares de macro e micronutrientes e análise econômica. Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão. Os resultados indicam que a adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes, associada ao biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil em concentrações menores, favorece o crescimento das mudas. Além disso, a aplicação de 50% de biocarvão de casca de cupuaçu, combinada com fertilizante NPK + micronutrientes, melhora significativamente a qualidade e a produção das mudas da espécie.

**Palavras-chave:** *Euterpe precatoria* Mart., fertilizante, carvão vegetal.

## ABSTRACT

The single-stem açaí palm (*Euterpe precatoria* Mart.) is a species of great economic and ecological importance, whose cultivation expansion depends on the production of high-quality seedlings. The proper selection of inputs, such as substrates and fertilization, is essential to ensure vigorous seedling growth and good field performance. Biochar has emerged as a promising substrate conditioner, capable of improving the physicochemical properties of the soil and enhancing plant growth. In this context, this study aimed to evaluate the effect of different concentrations of biochar derived from Brazil nut shell and cupuaçu shell in substrate composition and its interaction with two types of fertilization (conventional NPK + micronutrient fertilizer and slow-release fertilizer) on the growth, nutritional quality, and economic viability of *Euterpe precatoria* Mart. seedling production. Two experiments were conducted in a nursery under 70% shade at Embrapa Acre, using a randomized block design with three replications and eight plants per plot. Treatments were arranged in a  $6 \times 2$  factorial scheme, considering five concentrations of biochar produced from Brazil nut shell and cupuaçu shell, in addition to the control (0, 10, 20, 30, 40, and 50%), and two types of fertilization: conventional NPK + micronutrient fertilizer (0.30 g applied biweekly) and slow-release fertilizer at  $8 \text{ kg.m}^{-3}$  in the substrate. Twelve months after transplanting, variables related to seedling growth and quality were analyzed, including height, collar diameter, height/diameter ratio, number of leaves, dry mass of different plant parts, Dickson's quality index (DQI), SPAD index, relative growth rate, leaf macro- and micronutrient contents, and economic analysis. Data were subjected to analysis of variance and regression. The results indicate that fertilization with conventional NPK + micronutrients, combined with lower concentrations of Brazil nut shell biochar, favors seedling growth. Additionally, the application of 50% cupuaçu shell biochar, combined with NPK + micronutrient fertilizer, significantly improves seedling quality and production of this species.

**Keywords:** *Euterpe precatoria* Mart., fertilizer, charcoal.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Forno de pirólise artesanal projetado para produção de biocarvão. Foto: Conceição Paula B. Rufino. Rio Branco, AC, 2025.....	23
Figura 2 - Etapa do processo para obter dos biocarvões: (A) - Introdução do resíduo e fogo. (B) - selagem da porta. (C) - Suspiros fechado. (D) - Banho de massa de argila. (E) - Retirada do biocarvão. (F) - Monitoramento com termômetro. (G) - Biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil. (H) -Biocarvão de casca de cupuaçu - Foto: Conceição Paula Bandeira Rufino. Rio Branco, AC, 2025.....	24
Figura 3 - Altura da muda de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil. Rio Branco, AC, 2025.....	32
Figura 4 - Altura da muda (AM) e altura do caule (AC) de mudas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste F. Rio Branco, AC, 2025.....	34
Figura 5 - Mudas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem de concentrações de biocarvão em função adubação de (A) adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e (B) fertilizante de liberação lenta (FLL). Foto: Conceição Paula Bandeira Rufino. Rio Branco, AC, 2025.....	34
Figura 6 - Diâmetro do colo de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil. Rio Branco, AC, 2025.....	35
Figura 7 - Diâmetro do coleto (A) e número de folhas (B) de mudas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Rio Branco, AC, 2025.....	36
Figura 8 - Relação altura/diâmetro (RAD) de mudas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Rio Branco, AC, 2025.....	37
Figura 9 - Massa seca de parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST) de mudas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Rio Branco, AC, 2025.....	38

Figura 10 - Índice de qualidade Dickson (IQD) de mudas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart., aos 12 meses após a repicagem, submetidas a diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil e adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e de liberação lenta. Rio Branco, AC, 2025.....	40
Figura 11 - Índice de SPAD de mudas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta. Rio Branco, AC, 2025.....	42
Figura 12 - Incremento de altura (A e B) e diâmetro (C e D) do colo de mudas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL) ao longo de 12 meses submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil. Rio Branco, AC, 2025.....	44
Figura 13 - Teores de macro e micronutrientes folhas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta. Rio Branco, AC, 2025.....	48
Figura 14 - Teor de manganês de folhas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil. Rio Branco, AC, 2025.....	50
Figura 15 - Teores de potássio (A), enxofre (B) e zinco (C) de folhas de mudas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste F. Rio Branco, AC, 2025.....	51
Figura 16 - Altura total e do caule de mudas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem, submetidas a diferentes concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Rio Branco, AC, 2025.....	54
Figura 17 - Mudas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem, submetidas a diferenças concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu e adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e (B) fertilizante de liberação lenta (FLL). Foto: Conceição Paula B. Rufino. Rio Branco, AC, 2025.....	55

Figura 18 - Diâmetro do coleto (A) e Relação altura e diâmetro (RAD) de mudas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Rio Branco, AC, 2025.....	56
Figura 19 - Massa seca de parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST) de mudas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Rio Branco, AC, 2025.....	57
Figura 20 - Índice de qualidade Dickson (IQD) de mudas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Rio Branco, AC, 2025.....	59
Figura 21 - Índice de SPAD de mudas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Rio Branco, AC, 2025.....	60
Figura 22 - Incremento mensal de altura (A e B) e diâmetro (C e D) do colo de mudas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL) ao longo de 12 meses submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu. Rio Branco, AC, 2025.....	63
Figura 23 - Teores foliares de cálcio (A), fósforo (B), enxofre (C), manganês (D) e zinco (E) de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta. Rio Branco, AC, 2025.....	66
Figura 24 - Teores foliares de magnésio (Mg) e Potássio (K) (A) e Cobre (Cu) (B) de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu. Rio Branco, AC, 2025.....	69
Figura 25 - Teores foliares de macro e micronutriente de nitrogênio (A), magnésio (B) e ferro (C) de folhas de mudas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste F. Rio Branco, AC, 2025.....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição das condições de temperatura e tempo de residência do processo de pirólise dos biocarvões. Rio Branco, AC, 2025.....	23
Tabela 2 - Análise físico-química de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil (BCCB) na combinação de substrato comercial (Maxfertil®). Rio Branco, AC, 2025.....	25
Tabela 3 - Tabela 3 - Análise físico-química de biocarvão de casca de cupuaçu (BCC) na combinação de substrato comercial (Maxfertil®). Rio Branco, AC, 2025.....	25
Tabela 4 - Concentração de fertilizante convencional (NPK + micronutrientes) baseado na formulação do basacote® Plus 12M NPK 15-08-12. Rio Branco, AC, 2025.....	27
Tabela 5 - Resumo da análise de variância das mudas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil em função a adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação controlada. Rio Branco, AC, 2025.....	31
Tabela 6 - Resumo da análise de variância do incremento mensal em altura e diâmetro do colo de mudas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta ao longo de 12 meses submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil. Rio Branco, AC, 2025.....	43
Tabela 7 - Resumo da análise de variância das mudas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação controlada. Rio Branco, AC, 2025.....	52
Tabela 8 - Resumo da análise de variância do incremento mensal em altura e diâmetro do colo de mudas de <i>Euterpe precatoria</i> Mart. em função adubação de NPK e fertilizante de liberação lenta ao longo de 12 meses submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu. Rio Branco, AC, 2025.....	61
Tabela 9 - Custo médio de produção de mudas de açaizeiro solteiro ( <i>E. precatoria</i> ) em concentrações de biocarvões de casca de castanha-do-brasil e casca de cupuaçu sob adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Custo fixo médio (CFme) custo variável médio (CVme), e custo total médio (CTm). Rio Branco, AC, 2025.....	72

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	12
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	14
2.1 O AÇAIZEIRO SOLTEIRO ( <i>Euterpe precatoria</i> Mart.) .....	14
2.2 PRODUÇÃO DE MUDAS .....	16
2.3 IMPORTÂNCIA DO BIOCARVÃO PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS .....	17
2.4 FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO LENTA <i>versus</i> FERTILIZANTE CONVENCIONAL .....	20
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	22
3.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	22
3.2 OBTENÇÃO DOS RESÍDUOS .....	22
3.3 PRODUÇÃO DO BIOCARVÃO .....	22
3.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS BIOCARVÕES.....	25
3.5 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS 1 e 2. ....	26
3.6 AVALIAÇÕES DAS MUDAS .....	27
3.6.1 Crescimento das mudas de açaizeiro solteiro .....	27
3.6.1.1 Variáveis não destrutivas .....	27
3.6.1.2 Variáveis destrutivas .....	28
3.6.2 Índice de SPAD .....	28
3.6.3 Taxa de crescimento relativo .....	28
3.6.4 Teores de Macro e Micronutrientes Foliares .....	29
3.7 ANÁLISE ECONÔMICA .....	29
3.8 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	30
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	31
4.1 EXPERIMENTO I - PRODUÇÃO DE MUDAS DE <i>Euterpe precatoria</i> MART. EM SUBSTRATOS A BASE DE BIOCARVÃO DE CASCA DA AMÊNDOA DA CASTANHA-DO-BRASIL E MANEJO DA ADUBAÇÃO .....	31
4.2 EXPERIMENTO II - PRODUÇÃO DE MUDAS DE <i>Euterpe precatoria</i> MART. EM SUBSTRATOS A BASE DE BIOCARVÃO DE CASCA DE CUPUAÇU E MANEJO DA ADUBAÇÃO .....	52
4.3 ANÁLISE ECONÔMICA DE BIOCARVÃO DE CASCA DA AMÊNDOA DA CASTANHA-DO-BRASIL E CASCA DE CUPUAÇU .....	71
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	73
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	74

## 1 INTRODUÇÃO

O açaizeiro solteiro (*Euterpe precatoria* Mart.) é uma palmeira monocauliforme pertencente à família Arecaceae, nativa da Amazônia Ocidental brasileira, com ocorrência predominante em áreas de várzea e igapós nos estados do Acre, Rondônia, Amazonas e Pará (Henderson, 1995). Adaptada a solos hidromórficos, a espécie se destaca pela capacidade de crescimento em ambientes alagáveis. A polpa apresenta alto valor nutricional, sendo rica em compostos bioativos, como antocianinas e flavonoides, responsáveis por suas propriedades antioxidantes e elevado teor de fibras (Yuyama *et al.*, 2011).

Do ponto de vista econômico, o açaizeiro solteiro é amplamente explorado para a produção de polpa e subprodutos derivados, cuja demanda tem crescido exponencialmente devido às suas características nutricionais e energéticas (Wadt *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2022). Entretanto, sua produção é predominantemente extrativista, o que limita o potencial produtivo da espécie. A baixa densidade populacional em áreas nativas (39 indivíduos/ha) resulta em uma produtividade reduzida, estimada em 140 kg/ha (Wadt *et al.*, 2004). Para suprir a demanda crescente e reduzir a pressão sobre os estoques naturais, torna-se essencial a implantação de cultivos comerciais, aliados a práticas agronômicas e tecnologias que otimizem o cultivo, promovendo maior sustentabilidade ao setor (Martinet *et al.*, 2017; IBGE, 2023).

No entanto, para o estabelecimento e sucesso de pomares com obtenção de alta produtividade faz-se necessário, dentre outros fatores de produção, a utilização de mudas vigorosas e com balanço nutricional adequado, obtidas a partir de substratos com propriedades físicas e químicas balanceadas, capazes de promover otimizado desenvolvimento inicial das mudas (Crispim *et al.*, 2020), principalmente considerando sua interação com uma adubação eficiente, sobretudo durante o crescimento inicial em campo (Ferreira *et al.*, 2023).

Existe ampla diversidade de substratos no mercado, porém com alto custo e qualidade não certificada (Simões *et al.*, 2015). Assim, a utilização de biocarvão pode ser uma alternativa viável como condicionador de substrato (Petter *et al.*, 2012), pois além de oferecer inúmeras vantagens, como o baixo custo e a redução de resíduos agroindustriais, ainda tem sua produção de fácil obtenção. Esse condicionador de substrato é produzido principalmente através do processo de pirólise de biomassa,

método onde o material utilizado é submetido a altas temperaturas, variando entre 300°C e 900°C (Shafaghat *et al.*, 2016).

A produção do biocarvão pode ser obtida de ampla diversidade de resíduos agroindustriais, como a casca de arroz, casca e caroço de cupuaçu, casca de castanha-do-brasil (Dias Júnior *et al.*, 2022), caroço de açaí (Torres *et al.*, 2021), casca de babaçu e casca de pinus (Centurião *et al.*, 2021), e inúmeros outros resíduos. Assim, esses resíduos que representa um desafio ambiental significativo, causando frequentemente impactos negativos, como a contaminação do solo e a emissão de gases de efeito estufa, podem valorizados pela conversão em insumos agrícolas.

O biocarvão apresenta alto potencial de melhorar as propriedades físico-químicas dos substratos, favorecendo o desenvolvimento vegetal. Em termos físicos, sua incorporação auxilia na estrutura do substrato, promovendo maior retenção de água e aumento a porosidade, auxiliando na aeração radicular (Ren *et al.*, 2016; Huang & Gu, 2019). Quimicamente, o biocarvão também contribui para a elevação do pH, o incremento da capacidade de troca catiônica (CTC) e o aumento do teor de carbono orgânico (Rondon *et al.*, 2007; Lehmann & Joseph, 2012; Zhao *et al.*, 2018). Além desses benefícios, estudos recentes comprovam que sua aplicação em substratos agrícolas tem efeitos positivos na produção de mudas, com ganhos em biomassa e qualidade fisiológica das plantas (Silva *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2022).

Sabe-se que o aproveitamento de resíduos de agroindústria para a produção de biocarvão é uma alternativa viável como condicionador de substrato, uma vez que este produto poderá agregar valor a uma parte do material que normalmente é descartado, além de ser utilizado para a produção de mudas. Entretanto, para maximizar o potencial do biocarvão, ainda são necessários mais estudos sobre sua influência no crescimento das plantas e na fertilidade do solo, especialmente em relação à matéria-prima utilizada e à concentração ideal para aplicação (Wang e Wang, 2019).

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito de diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil e de casca de cupuaçu na composição de substrato e sua interação com dois tipos de adubação (fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta) sobre o crescimento, qualidade nutricional e viabilidade econômica na produção de mudas de açaizeiro solteiro (*Euterpe precatoria* Mart.).

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

O gênero *Euterpe* pertence à família Arecaceae, possui cinco espécies no Brasil: *Euterpe catinga* Wallace, *Euterpe edulis* Mart., *Euterpe longibracteata* Barb.Rodr., *Euterpe oleracea* Mart. e *Euterpe precatoria* Mart., além de quatro variedades (*E. precatoria* Mart. var. *precatoria*, *E. precatoria* var. *longevaginata* (Mart.) A.J.Hend., *E. catinga* Wallace var. *catinga* e *E. catinga* var. *roraimae* (Dammer) A.J.Hend. & Galeano, (Leitman et al., 2013). Essas espécies são palmeiras terrestres de porte arbóreo, entre as quais *E. oleracea* e *E. precatoria* são comuns na Amazônia, sendo ambas nativas, porém não endêmicas (Oliveira; Rios, 2014).

Dentre as palmeiras frutíferas nativas de valor agroindustrial, destacam-se *E. edulis*, *E. oleracea* e o *E. precatoria*, (Henderson, 1995). A *E. edulis*, nativa da Mata Atlântica, tem sido intensamente explorada pela produção de palmito, enquanto *E. oleracea*, amplamente encontrada nos estados do Pará e Amapá, é a principal espécie responsável pela comercialização de frutos (Araújo et al., 2016). Já *E. precatoria*, nativa da Amazônia Ocidental brasileira, ocorre em regiões de terras altas e baixios, especialmente nos estados de Rondônia, Acre, Amazonas e Pará (Henderson, 1995; Yuyama et al., 2011; Ferreira, 2012; Martinot et al., 2017).

### 2.1 O AÇAIZEIRO SOLTEIRO (*Euterpe precatoria* Mart.)

A classificação botânica de *Euterpe precatoria* segue a hierarquia: Reino: Plantae; Divisão: Magnoliophyta; Classe: Liliopsida; Ordem: Arecales; Família: Arecaceae; Gênero: *Euterpe*; Espécie: *precatoria*; Nome científico: *Euterpe precatoria* Mart., os nomes comuns: açaí-do-amazonas, açaí-de-terra-firme, açaí-solteiro (Souza et al., 1996). A família abriga cerca de 3.400 espécies distribuídas em 236 gêneros, com a maior diversidade de palmeiras registrada na região Amazônica, onde se encontra aproximadamente 250 espécies (Lorenzi et al., 2010).

A espécie *Euterpe precatoria* apresenta estipe monocaule, cilíndrico, liso, de coloração acinzentada, alongado e sem espinhos, podendo atingir em média 20 metros de altura, chegando até 35 metros em condições favoráveis. O diâmetro médio do estipe em plantas adultas tem variação de 10 a 15 cm, com sua copa do tipo composta, apresentando de 8 a 14 folhas, e (tendo como sua principal característica a ausência de perfilhos na base do estipe (Souza et al., 1996, Silva et al., 2005). A

inflorescência possui é composta por um ráquis mais largo na base, que se insere no estipe da espécie, com o número de ráquinas variando entre 70 e 150, com comprimento de 35 a 45 cm por unidade (Silva *et al.*, 2005). As ráquinas contém flores femininas ladeadas por duas masculinas, formando um cacho que pesa entre 3 e 8 kg, dos quais 70% correspondem ao peso dos frutos. Os frutos são do tipo drupa, obliquamente globulosas, com cerca de 1,7 cm de diâmetro e peso de 2 a 3 g, sendo que aproximadamente 7% correspondem à polpa. Suas flores desabrocham em períodos distintos, favorecendo assim a alogamia como principal modo de reprodução (Pinto, 2018).

Os frutos maduros apresentam coloração púrpura, quase preta, e o suco extraído dos frutos tem uma tonalidade roxa, popularmente conhecido como "vinho de açaí". O fruto em estado imaturo tem coloração verde-escura e o suco coloração creme-arroxeadas (Souza *et al.*, 1996). A espécie é conhecida por produzir cachos pesados, com alto rendimento de polpa e elevado teor de antocianinas, características que favorecem sua comercialização no mercado local e regional (Alho, 1999). Em florestas de terra firme no estado do Acre, Rocha (2004) observou que a espécie tem produção média de 1,8 cachos por ano, com variação de 1 a 3 unidades, no qual cada cacho apresenta uma massa total de frutos entre 1 e 7,5 kg e peso médio de 1,14 g por fruto.

Na região Amazônica, as espécies *Euterpe precatoria* e *Euterpe oleracea* apresentam um ciclo reprodutivo contínuo ao longo do ano, contudo, os períodos de maior intensidade desses processos variam. A floração ocorre predominantemente entre os meses de janeiro a maio, enquanto a frutificação se concentra entre setembro e dezembro (Costa, 2019). O pico de floração coincide com a estação chuvosa, ao passo que a frutificação ocorre nos meses mais secos (Calzavara, 1972).

No Acre, a safra de açaí ocorre entre os meses de abril a outubro, com frutos oriundos de áreas alagadas amadurecendo antes daqueles de terra firme, enquanto em Feijó e Tarauacá a produção acontece em duas etapas, com a primeira entre janeiro e abril, durante a estação chuvosa, e em regiões baixas próximas aos rios e igarapés (Costa, 2019). Enquanto a segunda, entre julho e setembro, na estação seca, quando os frutos se desenvolvem principalmente em áreas de terra firme (Wadt *et al.*, 2004).

O sistema radicular das plantas de açaizeiro é do tipo fasciculado, com raízes que surgem do estipe até 80 cm acima do nível do solo e continuam na base do estipe, como raízes adventícias, formando assim um anel espesso (Castro; Bovi, 1993). Além disso, a presença de pneumatóforos permite ao sistema radicular respirar em solos inundados ou com excessos de água, proporcionando boa adaptação e desenvolvimento a essas regiões (Castro; Bovi, 1993).

## 2.2 PRODUÇÃO DE MUDAS

A produção de mudas é uma etapa essencial no cultivo de espécies perenes, como a *Euterpe precatoria* Mart., objetivando efetivamente uniformidade e máximo de vigor nas plantas. Mudas bem desenvolvidas possibilitam maior percentual de sobrevivência e proporcionam um crescimento vigoroso em condições de campo, sendo assim fundamental nesta etapa a aplicação de técnicas adequadas (Gomes *et al.*, 2002).

Nessa fase inicial, alguns fatores são fundamentais para assegurar a qualidade das mudas, como o substrato, ambiente de cultivo, volume dos recipientes, irrigação, nutrição e o manejo nas operações (Costa *et al.*, 2015). A combinação eficiente desses fatores não apenas possibilita a produção de mudas de qualidade superior, mas também contribuem para uma eficiência produtiva e maior economia em todo o processo (Reghin *et al.*, 2004).

A seleção do substrato é um dos principais fatores na produção de mudas, influenciando diretamente o crescimento das plantas, pois além de fornecer suporte físico, também está diretamente ligado a disponibilidade de água e nutrientes, como também proporcionar aeração adequada ao crescimento das raízes, promovendo desenvolvimento adequado as mudas (Caldeira *et al.*, 2012). Para isso, é fundamental que o substrato apresente algumas características, como baixa densidade física, alta capacidade de troca catiônica, eficiente retenção de água, além de proporcionar uma boa aeração e drenagem, possibilitando um ambiente ideal para o desenvolvimento das mudas (Terra *et al.*, 2011).

A utilização de diferentes materiais na composição do substrato pode contribuir para o aumento dos teores de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e

micronutrientes como boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn), proporcionando um crescimento adequado das mudas (Lustosa Filho *et al.*, 2015). Dessa forma, um substrato bem formulado não apenas sustenta o crescimento inicial das mudas, mas também contribui para seu estabelecimento e desenvolvimento em campo.

Além do mais, ambientes protegidos com utilização de sombreamento entre 65% e 75% são ideais para o desenvolvimento de mudas de açaizeiro solteiro, contribuindo para a redução da incidência de antracnose (Andrade Neto *et al.*, 2023). Nesse contexto, torna-se essencial realizar investimento na produção de mudas de qualidade e em técnicas que favoreçam a germinação, reduzam o tempo de permanência em viveiro, além de melhorar o desempenho no campo, possibilitando retornos econômicos mais expressivos.

Ainda, outro fator importante na produção de mudas é a seleção do recipiente adequado, pois sua volumetria influencia diretamente o desenvolvimento, logo que recipientes de maior volume tendem a favorecer um crescimento superior do sistema radicular (Chaves Junior *et al.*, 2022). Para *Euterpe precatoria* Mart., os recipientes mais indicados são tubetes extragrandes, com capacidade de 900 cm<sup>3</sup> e sacos de polietileno de 18 cm x 25 cm, para mudas de até 12 meses de idade (Andrade Neto *et al.* 2023).

Igualmente, a irrigação e a adubação também são fatores críticos no manejo de mudas. Pois a irrigação necessita ser cuidadosamente controlada para manter a umidade ideal, evitando estresse hídrico e o encharcamento por excesso, que comprometem o desenvolvimento das mudas (Fernandes; Santos, 2017). Além da adubação, que deve ser balanceada, com observação nos macronutrientes, como o nitrogênio e fósforo, que são essenciais no crescimento inicial de plantas (Martins; Costa, 2015).

## 2.3 IMPORTÂNCIA DO BIOCARVÃO PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS

Nos últimos anos, aumentou o interesse pelo uso de resíduos agroindustriais como substratos alternativos na produção de mudas de *Euterpe precatoria*. Essas alternativas demonstram enorme potencial para substituição aos substratos convencionais, contribuindo para uma redução de custos e possíveis impactos

ambientais ocasionados pelo descarte inadequado de resíduos (Araújo *et al.*, 2017). Algumas pesquisas já têm evidenciado a eficiência na utilização desses resíduos no desenvolvimento inicial da espécie.

Araújo *et al.* (2020) avaliaram o crescimento de mudas de *E. precatoria* utilizando casca de Castanha-do-brasil, casca de cupuaçu, caroço de acerola e caroço de açaí como substrato, observando principalmente as variáveis como altura da planta, diâmetro do colo, relação altura/diâmetro e número de folhas. Ainda, Carvalho *et al.* (2021) investigaram o efeito de substrato proveniente da agroindústria de processamento de polpa, composto por caroços de açaí, acerola e cajá, além das cascas de amêndoas de castanha-do-brasil e de cupuaçu, demonstrando a viabilidade do uso desses resíduos na produção de mudas.

Embora o uso de resíduos agroindustriais tenha demonstrado resultados promissores na produção de mudas, ainda há lacunas na pesquisa sobre o potencial de utilização do biocarvão produzido a partir desses materiais. Especialmente o biocarvão obtido pelo processo de pirólise de resíduos orgânicos, métodos no qual os materiais da matéria prima são submetidos a altas temperaturas, que variam entre 300°C e 900°C (Shafaghat *et al.*, 2016).

A utilização de biocarvões oriundos de resíduos agroindustriais provenientes de cadeias produtivas da Amazônia podem promover inúmeras melhorias na estrutura dos substratos, aumentando a retenção de água e nutrientes, além de favorecer a microbiota do solo e reduzir as emissões de gases de efeito estufa (Lima *et al.*, 2013, Costa, 2021). Sua produção pode ser realizada utilizando resíduos agroindustriais, como a casca de castanha-do-brasil (Dias Júnior *et al.*, 2022), caroço de açaí (Torres *et al.*, 2021), casca de babaçu e casca de pinus (Centurião *et al.*, 2021).

Na produção de mudas, a seleção de um substrato adequado é essencial para garantir o desenvolvimento das plantas (Cavalcante *et al.*, 2011). O uso de materiais alternativos na composição de substratos orgânicos, como resíduos agroindustriais, apresenta vantagens econômicas e ambientais, pois geralmente esses materiais são abundantes e com baixo custo de aquisição, contribuindo para a redução de custos em relação aos substratos comerciais, que apresentam valor superior e ainda podem ser deficientes em alguns elementos essenciais, como o fosfóro (Simões *et al.*, 2015, Silva *et al.*, 2019).

O biocarvão destaca-se como alternativa eficiente na produção de mudas, apresentando estrutura porosa, leveza e alta capacidade de retenção de nutrientes, tornando-se opção viável para aplicação direta no solo, mas também na utilização como componente de substratos (Petter *et al.*, 2012; Barros *et al.*, 2017). Sua utilização em solos tropicais ácidos ou com baixa disponibilidade de nutrientes tem demonstrado potencial, especialmente para aumentar a fertilidade do solo (Tammeorg *et al.*, 2014), atuando no ajuste de pH e elevando a capacidade de troca catiônica (Chintala *et al.*, 2013), além da disponibilidade de nutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo, cálcio e potássio (Kookana *et al.*, 2011).

Estudos têm evidenciado o potencial do biocarvão como condicionador de substratos. Souza *et al.* (2023) destacam que a dose ideal de biocarvão varia conforme a espécie, o sistema de manejo e os insumos utilizados. Rezende *et al.* (2016) observaram que mudas de *Tectona grandis* cultivadas em substrato contendo 25% de biocarvão de serragem fresca de espécies nativas tropicais apresentaram melhores parâmetros de desenvolvimento e qualidade em comparação ao substrato comercial puro.

Trazzi *et al.* (2016) verificaram que misturas com 60% e 80% de biocarvão de bagaço de cana-de-açúcar resultaram em um crescimento significativamente maior em altura e diâmetro de mudas de *Pinus taeda*, demonstrando a capacidade do biocarvão de melhorar a qualidade do solo e a disponibilidade de nutrientes. Assim como Barros *et al.* (2019), no qual verificaram em que o uso de biocarvão no composto por 50% de serragem de espécies nativas influenciou positivamente a altura da planta, o diâmetro do caule, o número de folhas, o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), o acúmulo de biomassa fresca e seca em mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*).

Crispim *et al.* (2020) relataram que o biocarvão de espécies vegetais nativas produzido a partir de biomassa do semiárido foi mais eficaz na proporção de 50%, favorecendo o desenvolvimento de mudas de rúcula ao otimizar o comprimento das raízes, o teor de água, a altura das plantas e a fitomassa fresca e seca. Reis *et al.* (2022) identificaram que a adição de 25% de biocarvão de casca de coco ao substrato comercial melhorou o crescimento e as características morfológicas de mudas de *Corymbia citriodora*, recomendando-o como aditivo e condicionador de solo.

O biocarvão produzido a partir de resíduos agroindustriais da Amazônia é uma alternativa inovadora e sustentável, pois promove a reutilização de resíduos, que normalmente seriam prejudiciais, reduzindo a dependência de substratos comerciais e melhorando a qualidade das mudas. Além dos benefícios ambientais e econômicos, essa estratégia contribui para o fortalecimento da cadeia produtiva do açaí. No entanto, para maximizar o potencial biocarvão, ainda são necessários mais estudos sobre sua influência no crescimento das plantas e na fertilidade do solo, especialmente em relação à matéria-prima utilizada e à concentração ideal de aplicação (Wang e Wang, 2019).

#### 2.4 FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO LENTA *versus* FERTILIZANTE CONVENCIONAL

A adubação é essencial para o sucesso na produção de mudas de qualidade, influenciando diretamente o crescimento e a eficiência do uso de nutrientes pelas plantas (Carvalho *et al.*, 2023). Dentre as opções disponíveis, destacam-se os fertilizantes de liberação lenta (FLL) e os fertilizantes convencionais, ambos com características e benefícios específicos (Vejan *et al.*, 2021).

Os fertilizantes de liberação lenta (FLL) são desenvolvidos para liberar nutrientes de maneira gradual, utilizando-se de uma membrana permeável, assim possibilitando atender às necessidades nutricionais das plantas ao longo do tempo de cultivo (Carvalho *et al.*, 2023). Esse método pode aumentar a eficiência da utilização de nutrientes, minimizando as perdas por lixiviação e volatilização (Chen *et al.*, 2020).

A liberação contínua e equilibrada dos nutrientes promove um desenvolvimento vigoroso das mudas, que incluem raízes e folhas, reduzindo o estresse nas plantas (Mikula *et al.*, 2020). A eficiência dos FLLs variam de 3 a 14 meses de acordo com a especificação do fabricante. Os fertilizantes de liberação lenta são formulados para fornecer nutrientes de maneira gradual ao longo do tempo, com sua eficiência diretamente influenciada por fatores ambientais, como temperatura, umidade do solo e atividade microbiana (Polidoro, 2016).

Segundo Trenkel (2010), o Comitê Europeu de Normalização estabelece que um fertilizante é classificado como de liberação lenta quando, a uma temperatura de 25°C, libera no máximo 15% dos nutrientes em 24 horas, menos de 75% em 28 dias

e pelo menos 75% no período indicado pelo fabricante. No entanto, em Rio Branco, Acre, onde as condições climáticas são caracterizadas por elevadas temperaturas e alto percentual de umidade, a taxa de liberação dos nutrientes pode ser alterada, reduzindo a eficiência do fertilizante e podendo resultar em deficiências nutricionais nas plantas quando condicionados por muito tempo no viveiro.

Já a adubação convencional, normalmente utiliza-se de fertilizantes de liberação imediata, que fornecem os nutrientes de maneira rápida, possibilitando maior risco de perdas, principalmente devido à lixiviação e volatilização (Rosen *et al.*, 2014). Embora o custo inicial desses adubos seja menor, a necessidade de aplicações é mais frequente e a possível ineficiência na absorção de nutrientes podem aumentar os custos a longo prazo, sendo vantajoso em áreas com menor risco de perdas ou onde o manejo de irrigação é mais controlado (Kamimura, *et al.*, 2020).

Apesar do custo mais elevado dos FLLs em comparação a adubação convencional, estes são mais eficientes (Moraes Neto *et al.*, 2003). Eficiência decorrente da aplicação em dose única na adubação de formação do substrato, garantindo a liberação gradual de nutrientes e reduzindo a necessidade de adubações subsequentes, o que também contribui para a economia de mão de obra (Rossa *et al.*, 2013).

Portanto, a seleção entre FLLs e fertilizantes convencionais na produção de mudas depende da observação de diversos fatores, incluindo o tipo de substrato, as condições climáticas e a infraestrutura disponível. Essa decisão técnica deve ser realizada tomando como base uma análise cuidadosa dos custos e benefícios, bem como das condições específicas da área de cultivo e dos objetivos do produtor.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi instalado e conduzido no viveiro situado no Campo Experimental da Embrapa Acre, em Rio Branco, Acre, Brasil, nas coordenadas ( $10^{\circ}1'30''S$ ,  $67^{\circ}42'18''W$ , 160 m de altitude), no período de agosto de 2022 a agosto de 2023. O clima da região é classificado como quente e úmido, com médias de temperatura máxima de  $30,9^{\circ}C$ , mínima de  $20,8^{\circ}C$ , umidade relativa do ar em 83% e precipitação pluviométrica anual de 1648 mm (INMET, 2024).

#### **3.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS**

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados em esquema fatorial  $6 \times 2$ , sendo os fatores: cinco concentrações de biocarvão e a testemunha 0% e dois fertilizantes, totalizando 12 tratamentos, com três repetições, sendo 8 plantas por parcela. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de cinco concentrações de biocarvão e a testemunha (0, 10, 20, 30, 40 e 50%) e dois fertilizantes, sendo convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta - FLL (Basacote® Plus 12M NPK 15-08-12). Para avaliar a eficiência dos fertilizantes FLL e NPK+ micronutrientes, foram realizados dois estudos distintos utilizando dois biocarvão: casca de amêndoas de castanha-da-amazônia e casca de cupuaçu.

#### **3.2 OBTENÇÃO DOS RESÍDUOS**

Os resíduos de casca da amêndoas da castanha-do-brasil e casca cupuaçu, foram obtidos de agroindústrias locais, que fazem a disposição final na Unidade de Tratamento de Resíduos Sólidos de Rio Branco - UTRE. Após a coleta, os resíduos foram secos a pleno sol sob lona, por 3 dias.

#### **3.3 PRODUÇÃO DO BIOCARVÃO**

Os biocarvões utilizados nos experimentos foram produzidos na Colônia Baixa Verde, localizada no município de Plácido de Castro, Acre, Brasil, nas coordenadas ( $10^{\circ}3'14''S$ ,  $67^{\circ}13'13''W$ , altitude de x metros). A produção foi realizada utilizando-se

de forno de pirólise artesanal, desenvolvido com base em modelos tradicionais utilizados por produtores rurais locais. O forno apresentava 1,63 m de altura, 4,70 m de circunferência e contava com 12 suspiros, distribuídos em 3 camadas, além de uma porta com dimensões de 1,00 m x 0,70 m (Figura 1).

Figura 1 - Forno de pirólise artesanal projetado para produção de biocarvão. Foto: Conceição Paula Bandeira Rufino. Rio Branco, AC, 2025.



A queima dos resíduos foi realizada separadamente no forno de pirólise artesanal, seguindo as etapas: a) introdução do resíduo; b) ateamento do fogo na entrada da porta do forno e c) selagem com tijolos e massa de argila umedecida (Figura 2A/B). Durante o período de pirólise verificou-se constantemente a temperatura com um termômetro 0 a 500 °C acoplado no forno (Tabela 1 e Figura 2F).

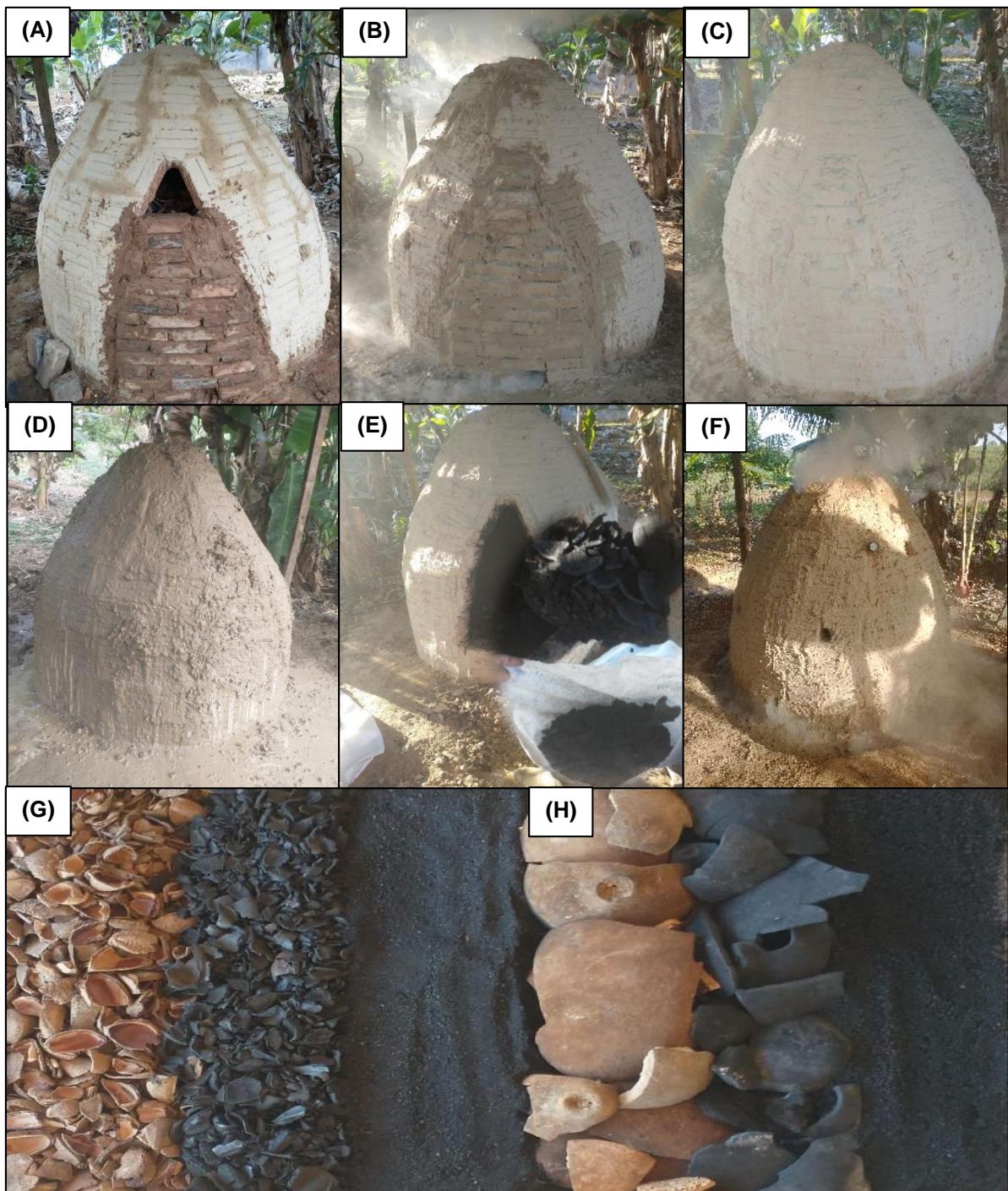
Tabela 1 - Descrição das condições de temperatura e tempo de residência do processo de pirólise dos biocarvões. Rio Branco, AC, 2025.

<b>Biocarvão</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Tempo residência de pirólise</b>
Casca da amêndoia da castanha-do-brasil	250 - 350 °C	96 horas (4 dias)
Casca de cupuaçu	250 - 450 °C	10 horas

Os suspiros foram observados a cada 3 horas. À medida que a fumaça cessava em cada camada, esses fechados com massa de argila, começando pela camada superior, passando pela intermediária, e finalizando na camada inferior (próxima ao chão). Após o fechamento de todos os suspiros (Figura 2C), o forno recebeu dois banhos de massa de argila: o primeiro logo após o fechamento dos suspiros e o segundo 12 horas depois (Figura 2D). O forno permaneceu resfriando por 72 horas

antes de ser aberto para a retirada do biocarvão. Após o resfriamento, o biocarvão foi retirado do forno, acondicionado em sacos de fibra com capacidade de 60 kg e posteriormente triturado (Figura 2E).

Figura 2 - Etapa do processo para obter dos biocarvões: (A) - Introdução do resíduo e fogo. (B) - selagem da porta. (C) - Suspiros fechado. (D) - Banho de massa de argila. (E) - Retirada do biocarvão. (F) - Monitoramento com termômetro. (G) - Biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil. (H) - Biocarvão de casca de cupuaçu - Foto: Conceição Paula Bandeira Rufino. Rio Branco, AC, 2025.



### 3.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS BIOCARVÃOS

As amostras foram enviadas ao Instituto Agronômico de Campinas (IAC) em São Paulo, para caracterização físico-química do biocarvão de casca de amêndoas de castanha-do-brasil e casca de cupuaçu. As análises físico-químicas de cada biocarvão na composição com substrato comercial (Maxfertil®) consistiram na avaliação do pH, assim como dos teores de macro (N, P, K, Ca, Mg, S), micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn), Carbono orgânico (C.Org) e umidade. Foram determinados ainda a relação C/N, condutividade elétrica (CE) densidade úmida e seca (DU e DS, respectivamente), capacidade de retenção de água (CRA) e capacidade de troca catiônica (CTC) (Tabela 2 e 3).

Tabela 2 - Análise físico-química de biocarvão de casca da amêndoas da castanha-do-brasil (BCCB) na combinação de substrato comercial (Maxfertil®). Rio Branco, AC, 2025.

BCCB (%)	pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	B	Cu	Mn	Zn
		-----g.kg <sup>-1</sup> -----						-----mg.kg <sup>-1</sup> -----				
0	5,0	1,5	126,16	73,0	25,40	18,30	103,4	3,8	77,18	0,07	0,4	0,05
10	5,5	5,5	23,6	142,5	10,80	6,04	92,33	29,8	87,07	0,05	0,6	0,07
20	6,0	4,8	28,5	217,5	8,20	4,40	93,53	16,8	87,07	0,02	0,5	0,05
30	6,1	4,1	23,26	255,0	6,20	3,10	69,62	16,8	77,18	0,02	0,5	0,05
40	6,4	5,0	35,99	310	6,8	3,18	84,68	21,2	77,18	0,03	0,5	0,05
50	6,5	6,5	36,65	280,0	6,8	3,24	92,33	22,4	80,47	0,01	0,4	0,06
BCCB (%)	C/N	Umidade	M.O	C.O.	Cinzas	CRA	CTC	CE	DU	DS		
		-----%-----						-----mmolc/kg <sup>-1</sup> -----				
0	75	44,55	55,16	24,89	44,84	77,00	600	0,51	0,55	0,30		
10	51	33,65	64,33	26,18	35,67	71,46	400	0,62	0,54	0,36		
20	38	30,85	73,45	26,68	26,55	73,64	400	0,85	0,55	0,38		
30	53	32,61	58,98	28,85	41,02	65,63	410	0,82	0,55	0,37		
40	39	23,58	69,01	29,27	30,99	73,85	370	0,92	0,56	0,43		
50	43	19,08	79,63	32,62	20,37	69,18	220	0,54	0,54	0,44		

<sup>1</sup>Relação C/N; <sup>2</sup>Unidade a 65; <sup>3</sup>Matéria orgânica (M.O); <sup>4</sup>Carbono orgânico (C.O); <sup>5</sup>Capacidade de Retenção de água (CRA); <sup>6</sup>Capacidade de troca catiônica (CTC); <sup>7</sup>Condutividade elétrica (CE); <sup>8</sup>Densidades úmida (DU) e seca (DS).

Tabela 3 - Análise físico-química de biocarvão de casca de cupuaçu (BCC) na combinação de substrato comercial (Maxfertil®). Rio Branco, AC, 2025.

BCC (%)	pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	B	Cu	Mn	Zn
		-----g.kg <sup>-1</sup> -----						-----mg.kg <sup>-1</sup> -----				
0	5,0	1,5	126,1	73,0	25,40	18,30	103,4	3,8	77,18	0,07	0,4	0,05
10	5,6	4,3	18,16	202,5	8,6	5,28	85,13	20,4	83,77	0,02	0,6	0,06
20	5,9	5,2	27,26	197,5	7,4	6,32	147,1	44,8	96,99	0,05	0,6	0,01
30	6,5	10,1	35,35	210,0	7,40	3,30	96,23	22,6	80,47	0,05	0,4	0,07
40	7,0	19	54,96	212,5	12,4	6,0	142,5	35,6	73,89	0,07	0,6	0,11
50	7,4	56	229,56	375	24,8	13	399,6	61,2	83,77	0,02	1,2	0,25
BCC (%)	C/N	Umidade	M.O	C.O.	Cinzas	CRA	CTC	CE	DU	DS		
		-----%-----						-----mmolc/kg <sup>-1</sup> -----				

BCC (%)	C/N	Umidade %	M.O.	C.O.	Cinzas	CRA mmolc/kg <sup>-1</sup>	CTC	CE dS/m <sup>-1</sup>	DU	DS
0	75	44,55	55,16	24,89	44,84	77,00	600	0,51	0,55	0,30
10	61	35,95	64,80	28,57	35,2	77,13	430	0,67	0,67	0,35
20	58	35,40	58,90	26,05	41,10	69,34	540	0,66	0,66	0,33
30	63	31,12	71,97	33,63	28,03	90,52	420	0,67	0,67	0,36
40	74	32,92	66,44	33,22	33,56	75,96	430	0,77	0,5	0,34
50	61	38,81	69,01	35,33	30,99	88,06	370	1,00	0,52	0,32

<sup>1</sup>Relação C/N; <sup>2</sup>Unidade a 65; <sup>3</sup>Matéria orgânica (M.O); <sup>4</sup>Carbono orgânico (C.O); <sup>5</sup>Capacidade de Retenção de água (CRA); <sup>6</sup>Capacidade de troca catiônica (CTC); <sup>7</sup>Condutividade elétrica (CE), <sup>8</sup>Densidades úmida (DU) e seca (DS).

Teor total: P,K,Ca,Mg,S,B,Cu,Fe,Mn,Zn: Extração nítrico-perclórico e determinação: ICP-OES.

N-Kjeldahl

Carbono Orgânico: Walkley-Black

Extração 1:5 para pH e <sup>7</sup>CE: Método descrito na IN 17 de 21/05/2007

<sup>2</sup>Umidade a 65°C: Métodos descritos na IN 17 de 21/05/2007 e IN 31 de 23 de outubro de 2008.

<sup>5</sup>Capacidade de Retenção de água (CRA 10): Mesa de tensão a 10 cm de coluna d'água (10kPa). Métodos descritos na IN 17 de 21/05/2007 e IN 31 de 23 de outubro de 2008.

<sup>6</sup>Capacidade de Troca de Cátions: Método descrito na IN 17 de 21/05/2007.

<sup>8</sup>Densidade úmida e seca: Métodos descritos na IN 17 de 21/05/2007 e IN 31 de 23 de outubro de 2008.

### 3.5 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS 1 e 2.

As mudas foram produzidas a partir de sementes de *Euterpe precatoria* obtidas de plantas da área de reserva legal da Embrapa Acre. As sementes foram semeadas em canteiros com areia e, após a emergência, foram selecionadas plântulas padronizadas, em estágio de palito, com aproximadamente 4 cm de altura e repicadas para tubetes de 800 cm<sup>3</sup>.

Durante o período de permanência das mudas em viveiro, foram mantidas com nível de 70% de sombreamento, foram realizadas irrigações diárias, por meio de sistema de microaspersão. O controle de plantas daninhas foi realizado manualmente e o de antracnose (*Colletotrichum gloesporioides*), por meio de pulverizações com fungicidas piraclostrobina + epoxiconazol e trifloxistrobina + tebuconazol (2,5 mL L<sup>-1</sup>) (NOGUEIRA et al., 2017), alternados quinzenalmente.

Foram estabelecidas duas condições de adubação utilizando os biocarvões combinado com o substrato comercial Maxfertil®:

- 1. Adubação com fertilizante de liberação lenta (FLL):** o substrato preparo foi previamente enriquecido com 8 kg.m<sup>-3</sup> do fertilizante de liberação lenta (basacote® Plus 12M NPK 15-08-12).
- 2. Adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes:** realizou-se aplicações quinzenais dos adubos, durante 12 meses, totalizando 21 aplicações. A dose utilizada foi de 0,30 g por tubete em cada aplicação, resultando em um

total de 6,4 g por tubete ao longo do experimento. O cálculo foi baseado no volume do tubete ( $800 \text{ cm}^3$ ) e na proporção de fertilizante de liberação lenta ( $8 \text{ kg.m}^{-3}$ ), conforme a fórmula:  $(800 \text{ cm}^3 \times 8 \text{ kg.m}^{-3})/1000 = 6,4 \text{ g por tubete}$ .

Iniciou-se a adubação das plântulas de açaizeiro, com fertilizante convencional NPK + micronutrientes, quando a primeira folha estava totalmente expandida, utilizando fertilizante convencional NPK + micronutrientes (mistura de vários fertilizantes como: ureia (45% N), superfosfato simples (18% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), superfosfato triplo (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), cloreto de potássio (60% K<sub>2</sub>O), sulfato de magnésio (K<sub>2</sub>O 1%; S 11,80%; Mg 9%; S-SO<sub>4</sub> 11,80) e FTE BR 12 (S 3,9%; B 1,8%; Cu 0,85%; Mn 2%) concentrações balanceadas com base na formulação do basacote® Plus 12M NPK 15-08-12 (N 15%; P 8%; K 12%; S 5%; Mg 1,2%; B 0,02%; Cu 0,05; Fe 0,4%; Mn 0,06% e Mo 0,015%). A quantidade usada de cada fertilizante nas adubações está descrita na tabela 4.

Tabela 4 - Concentração de fertilizante convencional (NPK + micronutrientes) baseado na formulação do basacote® Plus 12M NPK 15-08-12. Rio Branco, AC, 2025.

<b>U</b>	<b>SFT</b>	<b>KCl</b>	<b>SFS</b>	<b>MgSO<sub>4</sub></b>	<b>FTE BR12</b>	<b>Total</b>
33	10	20	20	13,3	3	99,63%

(U) ureia (kg), (SFT) superfosfato triplo (kg), (KCl) cloreto de potássio (kg), (SFS) superfosfato simples (kg), (MgSO<sub>4</sub>) sulfato de magnésio (kg).

### 3.6 AVALIAÇÕES DAS MUDAS

#### 3.6.1 Crescimento das mudas de açaizeiro solteiro

##### 3.6.1. Variáveis não destrutivas

As mudas foram avaliadas ao longo por um período de 12 meses após a repicagem, com medições realizadas a cada dois meses, nos intervalos de 2, 4, 6, 8, 10 e 12 meses. Durante essas avaliações, foram analisadas as seguintes variáveis: a) Altura da muda (AM), medida do colo da planta até a emissão do folíolo da folha mais jovem, verificada com auxílio de uma régua graduada em centímetro (cm) e b) Altura do caule (AC), medida do colo da planta até a saia dos folíolos, aferida com auxílio de uma régua graduada em centímetro (cm); c) Diâmetro do colo (DC) (mm)

medido no colo da planta a 1,0 cm acima do substrato, utilizando-se um paquímetro digital; d) Número de folhas (NF), contagem das folhas fisiologicamente ativas e totalmente expandidas e e) Relação Altura/Diâmetro (RAD), obtida pela relação entre a altura da muda e o diâmetro do colo.

### **3.6.1.2 Variáveis destrutivas**

A avaliação das variáveis destrutivas de crescimento das mudas, representadas pela matéria seca, foi realizada aos 12 meses após a repicagem. As mudas foram cuidadosamente retiradas dos recipientes e lavadas em água corrente, para remoção do excesso de substrato das raízes. Em seguida, as plantas foram separadas em três partes: folhas, caule e raízes. Cada parte foi acondicionada em sacos de papel kraft e seca em estufa de circulação forçada de ar em temperatura a 55 °C, até alcançar massa constante.

Após a secagem, as amostras tiveram suas massas aferidas em balança digital, permitindo a verificação das seguintes variáveis: massa seca da parte aérea (MSPA, em g), massa seca das raízes (MSR, em g) e massa seca total (MST, em g).

A qualidade das mudas foi avaliada por meio do Índice de Qualidade de Dickson (IQD), conforme descrito por Dickson *et al.* (1960). O IQD foi calculado utilizando a fórmula

$$IQD = \frac{MST \text{ (g)}}{\left( \frac{AP \text{ (cm)}}{DC \text{ (mm)}} \right) + \left( \frac{MSPA \text{ (g)}}{MSR \text{ (g)}} \right)}$$

### **3.6.2 Índice de SPAD**

O Índice SPAD, que reflete o teor relativo de clorofila, foi medido entre 08: 00h e 11: 00h da manhã, com o uso do clorofilômetro portátil SPAD 502. As leituras foram realizadas na folha mais nova, totalmente expandida e sadia, de quatro plantas por parcela.

### **3.6.3 Taxa de crescimento relativo**

Os incrementos bimestrais das variáveis de crescimento altura da planta (AP, em cm) e diâmetro do coleto (DC, em g) foram obtidos com base na diferença entre

os valores das medições realizadas bimestralmente, totalizando cinco incrementos, sendo utilizada a seguinte fórmula: Taxa de crescimento relativo:  $X = Y_m - Y_{m-1}$ . Onde,  $Y_m$  é a grandeza da variável no bimestre considerado;  $Y_{m-1}$  é a grandeza da variável no bimestre anterior;  $m$  é o bimestre considerado.

### 3.6.4 Teores de Macro e Micronutrientes Foliares

Os teores de macro e micronutrientes foliares foram determinados ao final do experimento. Na seleção das folhas de *Euterpe precatoria*, considerou-se o aspecto fitossanitário das folhas medianas completamente expandidas, obtidas pela coleta das oito plantas em cada parcela experimental. Essas amostras foram enviadas ao Laboratório de Bromatologia da Embrapa Acre, onde foram trituradas em um moinho tipo Willey e submetidas aos processos de digestão nitroperclórica e sulfúrica, visando à obtenção dos extratos para análise dos tecidos foliares.

Os teores de nitrogênio (N) foram determinados pelo método de Kjeldahl, conforme Bremner (1960). Os teores de fósforo (P) e enxofre (S) foram analisados por espectrofotometria, enquanto os teores de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn) e ferro (Fe) foram medidos por espectrofotometria de absorção atômica (EAA), seguindo os procedimentos descritos por Tedesco *et al.* (1995).

## 3.7 ANÁLISE ECONÔMICA

Para o procedimento de estimativa do custo da muda, conceituado como a soma de todos os valores (inssumos) e operações (serviços) utilizados no processo produtivo do viveiro, incluindo os respectivos custos alternativos ou de oportunidade (13,75% a.a. – Taxa Selic), considerando depreciação de materiais (telas, tubetes, sistema de irrigação, alvenaria e ferragem). A análise econômica consistiu em verificação do custo fixo médio (CFMe), custo variável médio (CVMe) e custo total médio (CTMe).

### 3.8 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados coletados foram submetidos aos testes de normalidades dos erros (Shapiro-Wilk, 1965) e homogeneidade das variâncias (Bartlett, 1937). Após verificação e atendimento dos pressupostos, efetuou-se a análise de variância pelo teste F, e havendo significância a 5%, os dados foram submetidos à análise de regressão. Além, da comparação de dados pelo teste de Scott-Knott (1974), à 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software estatístico Rbio (BHERING, 2017).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram divididos em dois tópicos, o primeiro constitui o experimento com substrato a base de biocarvão de casca da amêndoia de castanha-do-brasil e o segundo com biocarvão de casca de cupuaçu.

### 4.1 EXPERIMENTO I - PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Euterpe Precatoria* MART. EM SUBSTRATOS A BASE DE BIOCARVÃO DE CASCA DA AMÊNDOA DA CASTANHA-DO-BRASIL E MANEJO DA ADUBAÇÃO

Houve interação significativa ( $p<0,01$ ) entre biocarvão e adubação para as massas secas de parte aérea (MSPA), raiz (MSR), e total (MST), além do Índice de Qualidade de Dickson (IQD), do índice SPAD e os teores foliares de nitrogênio (N), magnésio (Mg), fósforo (P) e ferro (Fe) (Tabela 5).

Tabela 5 - Resumo da análise de variância das mudas de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil em função a adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação controlada. Rio Branco, AC, 2025.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios				
		AM	AC	DC	NF	RAD
<b>Biocarvão (A)</b>	5	41,50**	10,37ns	6,80**	0,10ns	0,04ns
<b>Adubo (B)</b>	1	822,44**	337,39**	80,57**	11,22**	0,21*
<b>AxB</b>	5	15,40ns	5,00ns	2,31ns	0,21ns	0,01ns
<b>Bloco</b>	2	3,42ns	4,61ns	0,28ns	0,15ns	0,10ns
<b>Erro</b>	22	11,88	4,76	1,95	0,09	0,03
<b>CV (%)</b>	-	12,3	13,54	10,29	6,44	9,42
Fonte de variação	GL	Quadrados médios				
		MSPA	MSR	MST	IQD	SPAD
<b>Biocarvão (A)</b>	5	18,46**	4,17**	37,21**	1,19***	23,26**
<b>Adubo (B)</b>	1	636,36**	0,00ns	639,92**	1,17**	7412,06**
<b>AxB</b>	5	9,96**	0,98*	16,32**	0,36**	25,09**
<b>Bloco</b>	2	5,43*	1,22*	11,73**	0,27*	0,15ns
<b>Erro</b>	22	1,33	0,27	1,98	0,07	1,28
<b>CV (%)</b>	-	8,68	11,22	7,81	9,69	3,66
Fonte de variação	GL	Quadrados médios				
		N	Ca	Mg	P	K
<b>Biocarvão (A)</b>	5	0,35**	0,51ns	1,95**	0,22**	2,21ns
<b>Adubo (B)</b>	1	14,66**	0,34ns	4,16**	0,37**	26,64**
<b>AxB</b>	5	0,46**	1,38ns	0,61**	0,23**	2,13ns
<b>Bloco</b>	2	0,01ns	0,48ns	0,00ns	0,00ns	0,86ns
<b>Erro</b>	22	0,03	0,66	0	0,04	1,31

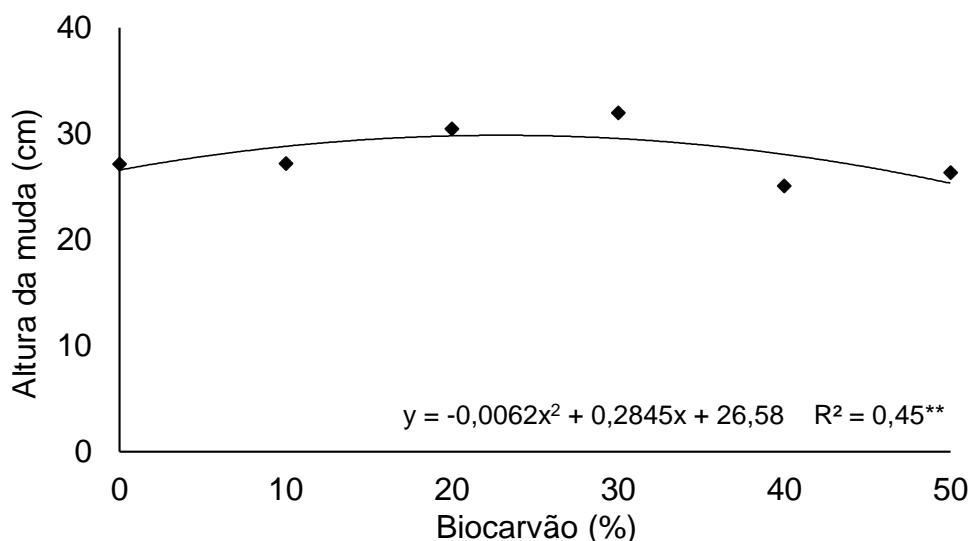
CV (%)	-	8,52	15,26	6,08	7,93	5,07
Fonte de variação	GL	Quadrados médios				
		S	Cu	Fe	Mn	Zn
Biocarvão (A)	5	0,37ns	0,98ns	15133,45**	147303,64**	12,32ns
Adubo (B)	1	8,11**	7,78ns	77997,31*	1100595,05**	192,60**
AxB	5	0,29ns	2,43ns	54588,31*	13520,37ns	12,19ns
Bloco	2	0,01ns	5,51ns	17118,91*	5115,56ns	1,08ns
Erro	22	0,19	2,09	17316,94	10726,5	9,26
CV (%)	-	10,33	44,4	12,92	21,75	15,4

Altura da muda total (AM), altura do caule (AC), diâmetro do colo (DC), número de folhas (NF), relação altura/diâmetro (RAD), parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST), Índice de qualidade Dickson (IQD), Índice de SPAD, Nitrogênio (N), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Fósforo (P), Potássio (K), Enxofre (S), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn). ns Não significativo; \*\* Significativo a 1 e 5% de probabilidade, GL: Grau de liberdade e CV: Coeficiente de variação.

#### 4.1.1 ALTURA DA MUDA

A variável altura da muda ajustou-se ao modelo de regressão quadrática, alcançando o ponto máximo com 23,04% de biocarvão, o que resultou em uma altura estimada de 29,84 cm (Figura 3). Araújo *et al.* (2020) verificaram resultados semelhantes ao utilizarem um substrato composto de 100% de resíduos de casca de castanha-do-brasil após 6 meses de decomposição natural, registrando uma altura média de 29,45 cm para mudas de *Euterpe precatoria*, em viveiro.

Figura 3 - Altura da muda de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil. Rio Branco, AC, 2025.



Logo, empregando o processo de pirólise diretamente na casca de castanha-do-brasil, sem esperar pelo período de decomposição natural, possibilidade de resultado positivo com mais rapidez. Dessa forma, a adição de 23,04% de biocarvão produzido por pirólise pode ser uma alternativa prática e eficiente, especialmente em situações de escassez de matéria-prima, em substituição ao uso de 100% de resíduos compostados. Além disso, o biocarvão, obtido a partir de resíduos agrícolas, contribui tanto para a melhoria da qualidade dos substratos quanto para o aproveitamento econômico dos resíduos (Gonzaga *et al.*, 2019).

O biocarvão de origem da casca da amêndoia de castanha-do-brasil como condicionador de substrato favoreceu significativamente o crescimento em mudas de açaizeiro solteiro, especialmente quando associado à adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes (Figuras 3, 4 e 5A). Assim como observado por Petter (2010), o biocarvão pode beneficiar o desenvolvimento das plantas, principalmente devido ao seu potencial de aumentar a absorção de nutrientes.

A inclusão de 23,04% de biocarvão elevou o pH do substrato de 5,0 (controle) para 6,0, proporcionando condições ideais para a disponibilidade de nutrientes essenciais, como fósforo (P) e potássio (K), que atingiram concentrações de 28,5 g.kg<sup>-1</sup> e 217,5 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 2). O valor de pH entre 5,0 e 6,0 está dentro do intervalo recomendado para otimizar a disponibilidade de nutrientes no substrato (Jorge, 2020).

Resultados também encontrado por Ghosh *et al.* (2015), que destacaram o efeito positivo do biocarvão no crescimento de mudas *Samanea saman* e *Suregada multiflora* em fase de viveiro. Rezende *et al.* (2016), evidenciaram a eficácia de substratos contendo 25% de biocarvão de serragem fresca de espécies nativas no desempenho do crescimento de mudas de *Tectona grandis*. Assim, o biocarvão se apresenta como uma alternativa sustentável para melhorar as condições físicas e químicas do substrato, otimizando o crescimento das plantas.

As variáveis altura da muda e altura do caule de *Euterpe precatoria* apresentaram diferenças estatisticamente significativas pelo Teste F em relação à adubação. A adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes resultou em melhor crescimento das mudas de açaizeiro solteiro em comparação ao uso de fertilizante de liberação lenta (Figuras 4 e 5A e B).

Figura 4 - Altura da muda (AM) e altura do caule (AC) de mudas de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste F. Rio Branco, AC, 2025.

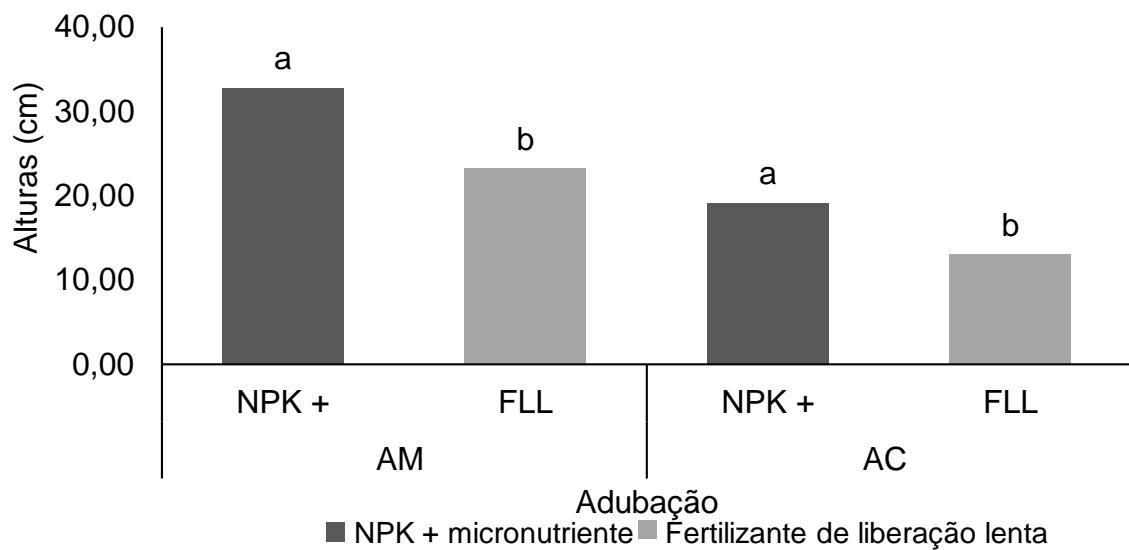
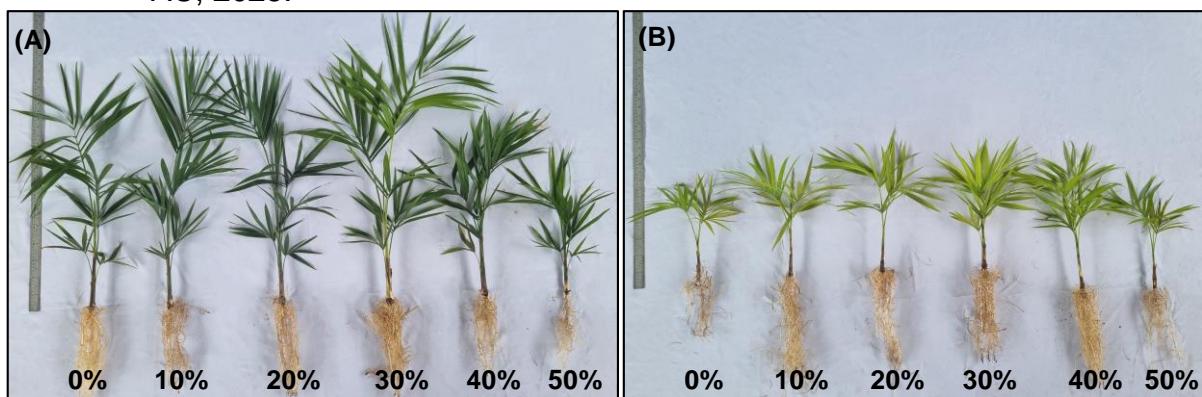


Figura 5 - Mudas de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem de concentrações de biocarvão em função adubação de (A) adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e (B) fertilizante de liberação lenta (FLL). Foto: Conceição Paula Bandeira Rufino. Rio Branco, AC, 2025.

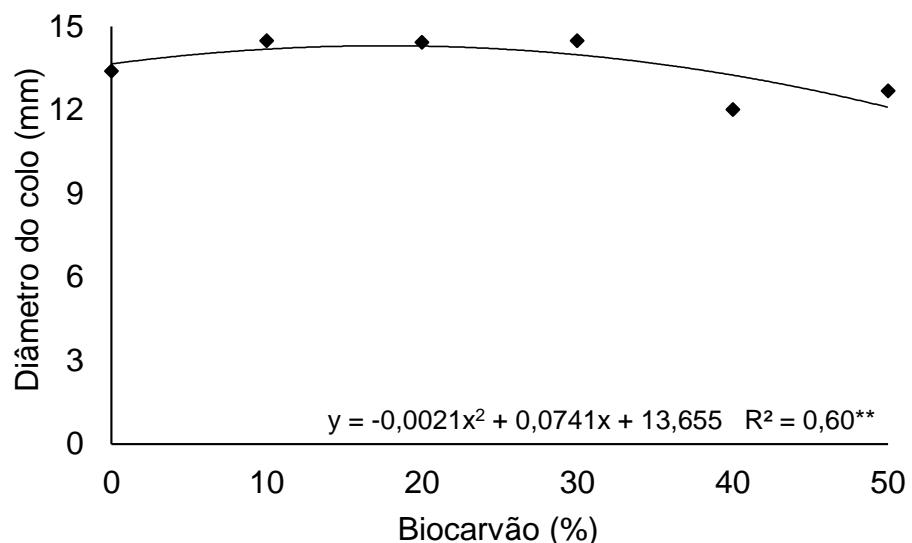


Mudas com altura e diâmetro adequados demonstram maior aptidão para competir por recursos, além de maior tolerância e resistência aos estresses ambientais e uma probabilidade mais alta de sobrevivência e crescimento após o plantio em campo, proporcionando maior taxa de sucesso e consequentemente menor custo de implantação e condução de pomares (Camilo Júnior *et al.*, 2023; Caixeta *et al.*, 2023).

#### 4.1.2 DIÂMETRO DO COLO E NÚMERO DE FOLHAS

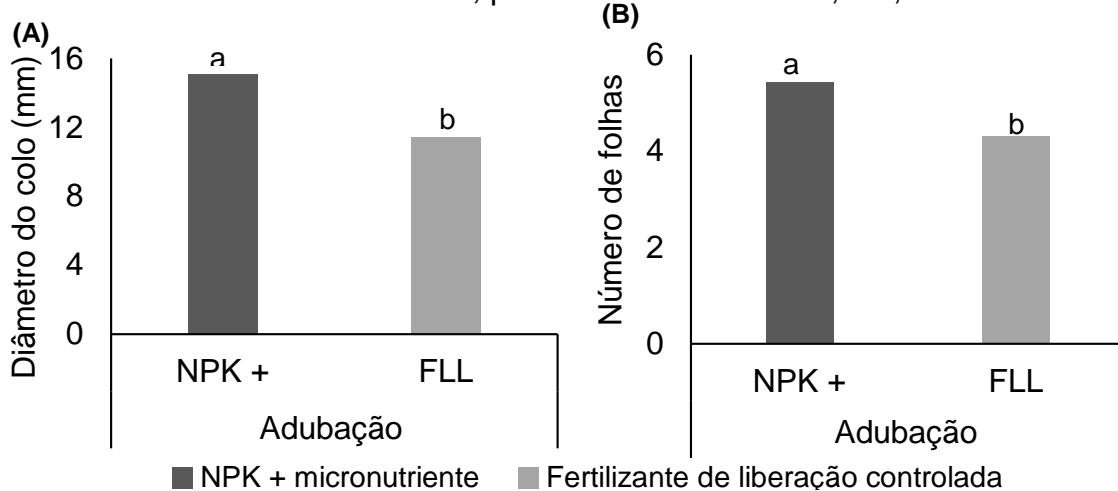
O diâmetro do colo ajustou-se ao modelo de regressão quadrática, apresentando um ponto máximo com 17,64% de biocarvão, com um diâmetro de colo de 14,31 mm. Esse resultado evidencia a influência positiva do biocarvão no desenvolvimento inicial de mudas de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem (Figura 6).

Figura 6 - Diâmetro do colo de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil. Rio Branco, AC, 2025.



As fontes de fertilizantes promoveram diferenças significativas ( $p<0,01$ ) no diâmetro do colo (DC) e do número de folhas (NF) (Figura 7A e 7B), com a adubação de fertilizante convencional NPK + micronutrientes superior nos atributos, apresentando maior diâmetro de colo (15,08 mm) e número de folhas (5,43), em comparação ao fertilizante de liberação lenta (FLL) que obteve valores inferiores (11,45 mm para DC e 4,31 para NF).

Figura 7 - Diâmetro do colo (A) e número de folhas (B) de mudas de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste F. Rio Branco, AC, 2025.



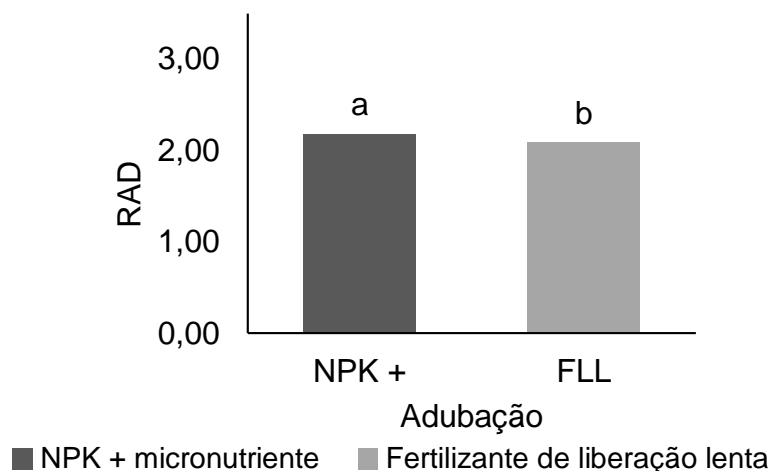
O biocarvão de casca da amêndoa da castanha-do-brasil proporciona influência significativa na capacidade de troca catiônica (CTC), alcançando  $400 \text{ mmolc.kg}^{-1}$  na concentração de 20% (Tabela 2). Superior ao mínimo recomendado em mudas de  $120 \text{ mmolc.dm}^{-3}$  (Verdonck *et al.*, 1981), demonstrando seu potencial para melhorar a retenção e a liberação gradual de nutrientes essenciais. A CTC está diretamente associada à capacidade de retenção de cátions e à redução das perdas por lixiviação (Araújo *et al.*, 2020), assim quanto maior a CTC de um substrato, maior será a retenção de cátions adsorvidos.

Logo, o diâmetro do coleto é amplamente reconhecido como uma variável importante na avaliação da qualidade de mudas, principalmente atribuído a sua relação com a sustentação da parte aérea e a sobrevivência da planta após o plantio (Crispim *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2020). Ainda, um maior número de folhas, associado a uma maior área foliar, diretamente ligado a um crescimento inicial rápido, proporcionando maior produção de fotoassimilados (Lima *et al.*, 2008).

#### 4.1.3 RELAÇÃO ALTURA DA MUDA/DIÂMETRO (RAD).

A relação altura/ diâmetro (RAD) apresentou diferença estatisticamente em relação às condições de adubação, no qual a adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes foi superior à de fertilizante de liberação lenta (FLL) (Figura 8). Ainda, é importante observar e verificar que à medida que o valor dessa variável diminui, a capacidade de sobrevivência e estabelecimento da muda no campo aumentam (Gomes e Paiva 2012).

Figura 8 - Relação altura/diâmetro (RAD) de mudas de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste F. Rio Branco, AC, 2025.



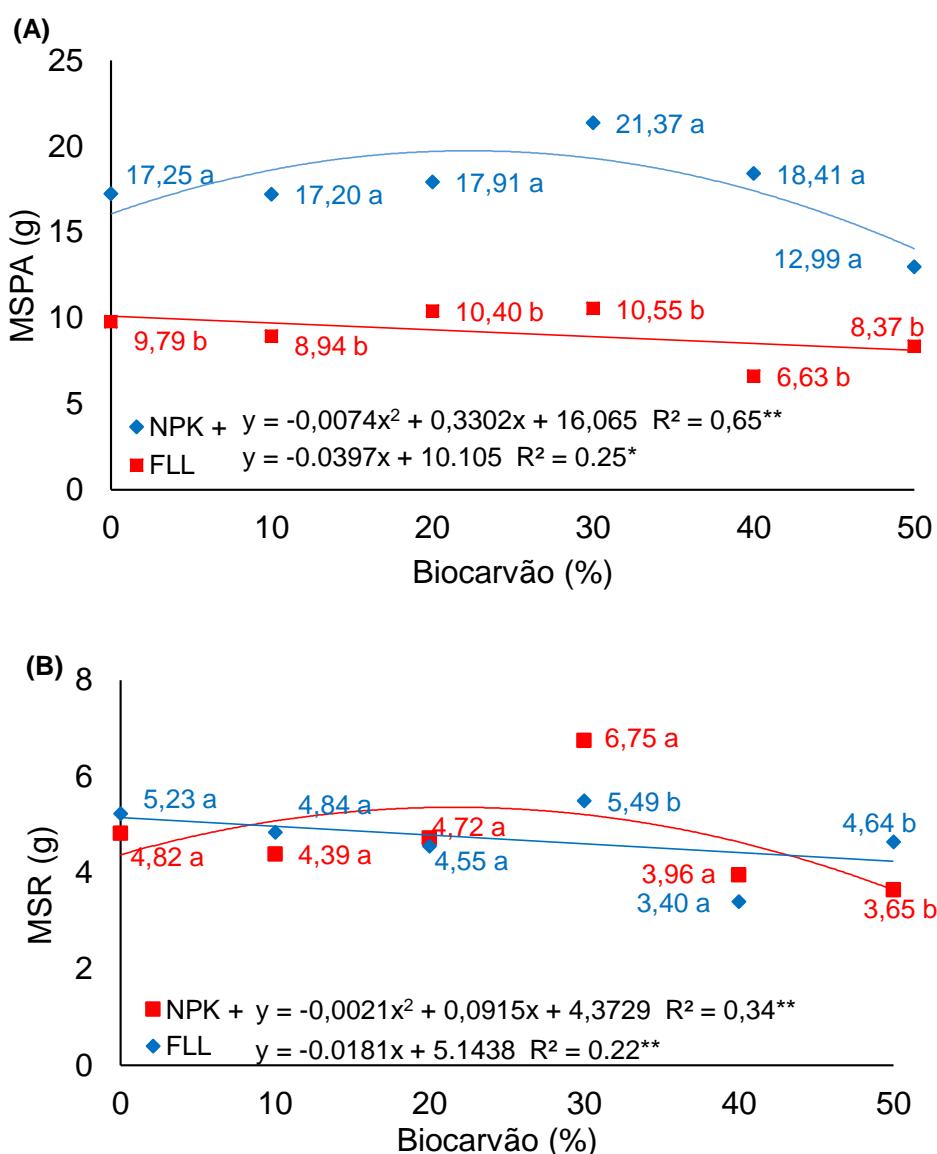
Contudo, esses parâmetros oferecem uma melhor avaliação da qualidade das mudas quando considerados em conjunto, com o ponderamento das variáveis “relação entre altura e diâmetro”. Isso ocorre pelo fato da proporção entre a parte aérea e o caule ser um atributo desejável, indicando o equilíbrio morfológico e a robustez das mudas (Grossnickle; Macdonald, 2018).

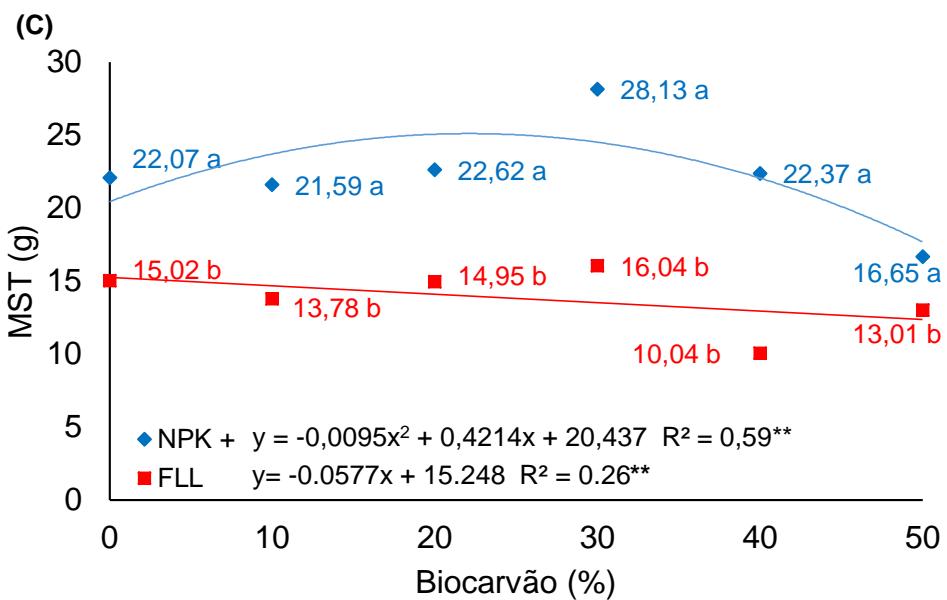
#### 4.1.4 MASSA SECA DA PARTE AÉREA, RAIZ E TOTAL

As variáveis de massa seca da parte aérea (MSPA) (Figura 9A), massa seca da raiz (MSR) (Figura 9B), e massa seca total (MST) (Figura 9C) das mudas de *Euterpe precatoria* Mart., sob adubação com fertilizante convencional NPK +

micronutrientes apresentaram desempenho superior ao fertilizante de liberação lenta (FLL). A adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes foi ajustada por regressão quadrática, com pontos de máximas de biocarvão de 22,26% para MSPA, de 21,48% para MSR e 22,07% para MST, com valores máximos estimados de 19,74, 5,35 e 25,09 g, respectivamente. A adubação com fertilizante de liberação lenta (FLL) apresentou tendência com comportamento linear decrescente para essas três variáveis.

Figura 9 - Massa seca de parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST) de mudas de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Rio Branco, AC, 2025.





As massas secas da parte aérea, da raiz e total das mudas de açaizeiro solteiro foram superiores às reportadas por Rufino *et al.* (2023), que observaram valores de 7,14 g, 4,19 g e 12,5 g, respectivamente, em mudas de açaizeiro cultivadas em substrato composto por solo (2,5) e areia (1:1), dez meses após a repicagem. Araújo *et al.* (2020) relataram que mudas de açaizeiro solteiro cultivadas em substrato à base de casca de castanha-do-brasil compostado apresentaram massas secas da parte aérea, raiz e total de 6,64 g, 3,17 g e 9,81 g, respectivamente, quando submetidas à adubação com 5 kg.m<sup>-3</sup> de fertilizante de liberação lenta, dez meses após a repicagem.

As concentrações de biocarvão aplicados influenciaram diretamente as características químicas do substrato e, consequentemente, o desenvolvimento das mudas. Os valores de MSPA, MSR e MST alcançaram os pontos de máxima com concentrações de biocarvão próximos a 22%.

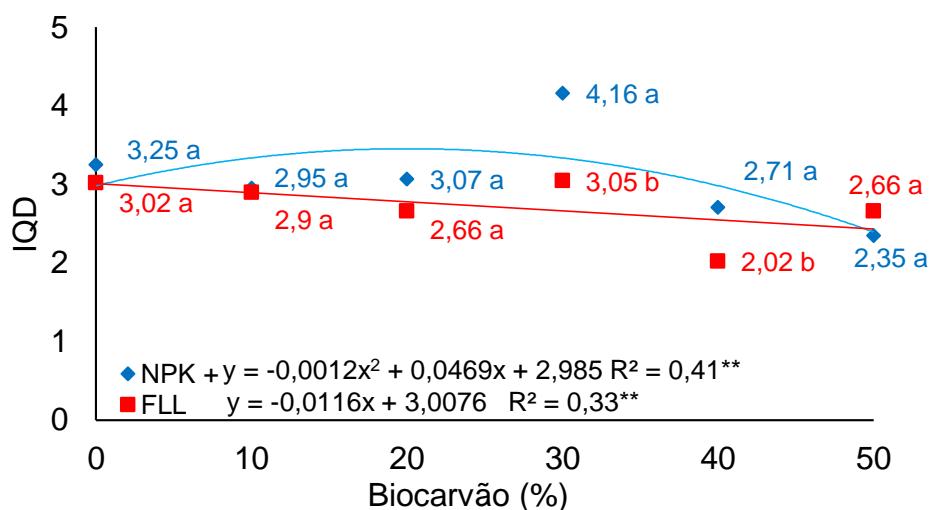
A adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes promoveu maior acúmulo de biomassa do que o fertilizante de liberação lenta (FLL). O acúmulo de matéria seca reflete a taxa líquida de fotossíntese na formação das mudas, sendo influenciado por nutrientes como N, P, K, Mg e S, que desempenham papéis ativos nos processos metabólicos de produção de fotoassimilados (Santos *et al.*, 2016). A parte aérea fornece fitohormônios e carboidratos às raízes, que, por sua vez, fornecem água e nutrientes, sendo essencial para o desenvolvimento das mudas (Lima *et al.*, 2018).

A MSR é um indicador essencial para avaliar a qualidade das mudas, uma vez que está diretamente relacionada à capacidade de absorção de água e nutrientes no campo (Shen *et al.*, 2019). O resultado observado para MSR (5,35 g) supera os valores reportados na literatura, refletindo na eficiência da adição de biocarvão (22%) à um substrato comercial com adubação NPK, com aumento de massa seca do sistema radicular de mudas de açaizeiro solteiro.

#### 4.1.5 ÍNDICE DE QUALIDADE DE MUDA DE DICKSON (IQD)

O IQD ajustou-se ao modelo de regressão quadrática para a adubação com fertilizante convencional NPK + micronutriente, cujo ponto de máximo foi obtido em 20,11% de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil, com valor estimado de 3,45 (Figura 10). Entretanto, a adubação de fertilizante de liberação lenta ajustou ao modelo de regressão linear decrescente.

Figura 10 - Índice de qualidade Dickson (IQD) de mudas de *Euterpe precatoria* Mart., aos 12 meses após a repicagem, submetidas a diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil e adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e de liberação lenta. Rio Branco, AC, 2025.



A avaliação da qualidade de mudas não deve se basear exclusivamente na análise isolada de variáveis biométricas ou no acúmulo de massa seca (Araújo *et al.*, 2020). Assim, o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) destaca-se como um dos indicadores mais abrangentes para a avaliação da qualidade das mudas,

considerando a robustez e o equilíbrio na distribuição da biomassa das mudas (Eloy *et al.*, 2013).

Na literatura, não há intervalo de referência estabelecido para o Índice de Qualidade Dickson (IQD) em mudas de açaizeiro solteiro, o que dificulta a avaliação da qualidade das mudas dessa espécie. Hunt (1990) propôs um valor mínimo recomendado de 0,20 para espécies florestais, representando o padrão de referência disponível. Entretanto, a partir da análise de alguns estudos, pode-se notar que o IQD para *E. precatoria* varia entre 2 a 3,6. Rufino *et al.* (2023), estimaram um IQD de 3,57 em mudas de açaizeiro solteiro cultivadas em substrato composto por solo (2,5) e areia (1:1), sem adubação.

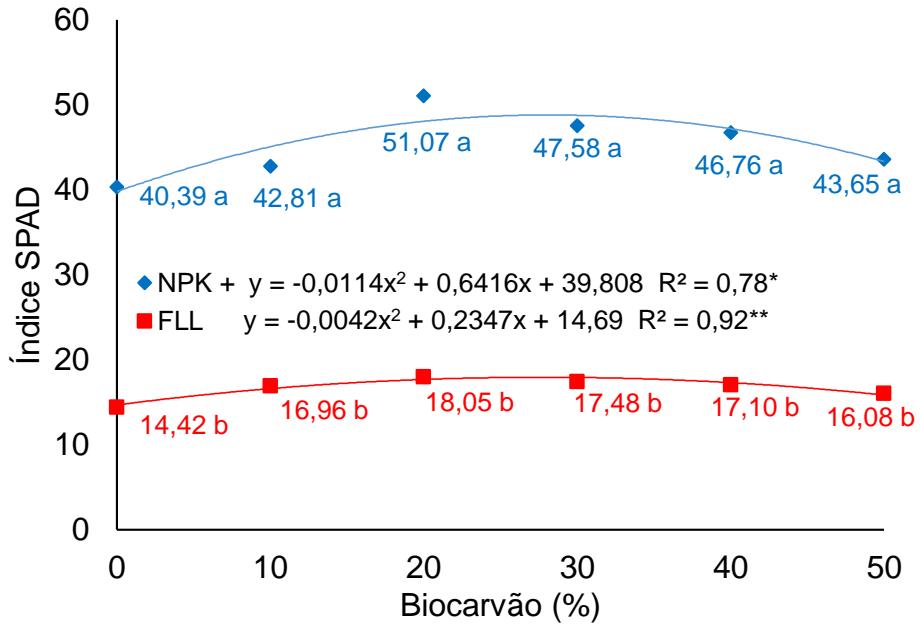
Araújo *et al.* (2020) verificaram IQD de 2,24 em mudas açaizeiro solteiro cultivadas em substrato a base de castanha do Brasil e caroço de acerola, com fertilizante de liberação lenta. Enquanto, Almeida *et al.* (2018) observaram um IQD máximo de 2,33 em mudas de *E. precatoria* cultivadas sob 75% de sombreamento, com adubação de liberação lenta, resultando em qualidade superior das mudas.

Segundo Avelino *et al.* (2021) esse parâmetro relaciona os indicadores de crescimento, visando à aplicação de procedimentos mais práticos e precisos para a avaliação da qualidade de mudas em viveiros, além de possibilitar altas correlações com a sobrevivência após o plantio no campo. Assim, confirmando a importância de uma relação equilibrada entre a parte aérea, diâmetro do coletor e biomassa, critérios utilizados na avaliação de qualidade das mudas (Eloy *et al.*, 2013).

#### **4.1.6 ÍNDICE SPAD**

A adubação convencional e de liberação controlada se ajustaram ao modelo de regressão quadrática (Figura 11). A adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes obteve ponto de máximo de 28,14% de biocarvão, atingindo o valor de 48,83 de índice SPAD. Já para o FLL, o ponto de máximo foi observado com 27,94% de biocarvão, alcançando 17,96 no índice SPAD. A adubação convencional foi superior à de FLL, em função das concentrações de biocarvão.

Figura 11 - Índice de SPAD de mudas de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta. Rio Branco, AC, 2025.



O índice SPAD permite mensurar de forma não destrutiva o teor relativo de clorofila nas folhas, utilizando um aparelho que emite luz em dois comprimentos de onda distintos (Alves *et al.*, 2020; Shibaeva *et al.*, 2020). A relação entre o índice SPAD e a nutrição vegetal está associada à disponibilidade de N no substrato, uma vez que esse elemento é essencial para a síntese de clorofila, pigmento responsável pela coloração verde das folhas e pelo desempenho fotossintético das plantas (Nogueira *et al.*, 2018).

Embora se espere que maiores teores de N levem a um aumento do índice SPAD, essa relação nem sempre é linear. Logo que a relação entre o índice e o estado nutricional da planta pode ser influenciada por alguns fatores como a espécie cultivada, condições edafoclimáticas e práticas de manejo (Maia Júnior *et al.*, 2017; Vidigal *et al.*, 2021). Assim, o comportamento quadrático do índice SPAD reflete tanto a dinâmica da disponibilidade de N no substrato quanto os efeitos de biocarvão sobre sua retenção e liberação. Em concentrações moderadas, o biocarvão melhora a retenção de nutrientes e a absorção de N, aumentando o índice SPAD. Entretanto, em concentrações elevadas de biocarvão, pode imobilizar temporariamente o N ou alterar sua disponibilidade, reduzindo a absorção eficiente e diminuindo o índice SPAD (Figura 11).

Assim, a combinação da adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes, aliada ao uso do biocarvão obtido a partir da casca da amêndoia da castanha-do-brasil como condicionador de substrato, desempenha um papel significativo no crescimento e desenvolvimento das mudas de *Euterpe precatoria*. Logo, que essa abordagem resulta em melhorias substanciais em vários aspectos da qualidade das mudas, sendo essencial para o estabelecimento do cultivo dessa espécie.

#### 4.1.7 TAXA DE CRESCIMENTO RELATIVO

O incremento de crescimento mensal das mudas de *Euterpe precatoria* Mart. apresentou interação significativa para todas as variáveis avaliadas (Tabela 6).

Tabela 6 - Resumo da análise de variância do incremento mensal em altura e diâmetro do colo de mudas de *Euterpe precatoria* Mart. em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta ao longo de 12 meses submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil. Rio Branco, Acre, 2025.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		AM - NPK	AM - FLL	DC - NPK	DC - FLL
<b>Biocarvão (A)</b>	5	1,51ns	0,99ns	0,18ns	0,21*
<b>Meses (B)</b>	4	77,91**	8,22**	1,95**	3,10**
<b>AxB</b>	20	1,11**	1,78**	0,57*	0,50**
<b>Bloco</b>	2	0,47ns	0,74ns	0,02ns	0,00ns
<b>Erro</b>	58	0,71	0,56	0,22	0,07
<b>CV (%)</b>	-	31,19	45,51	39,45	33,47

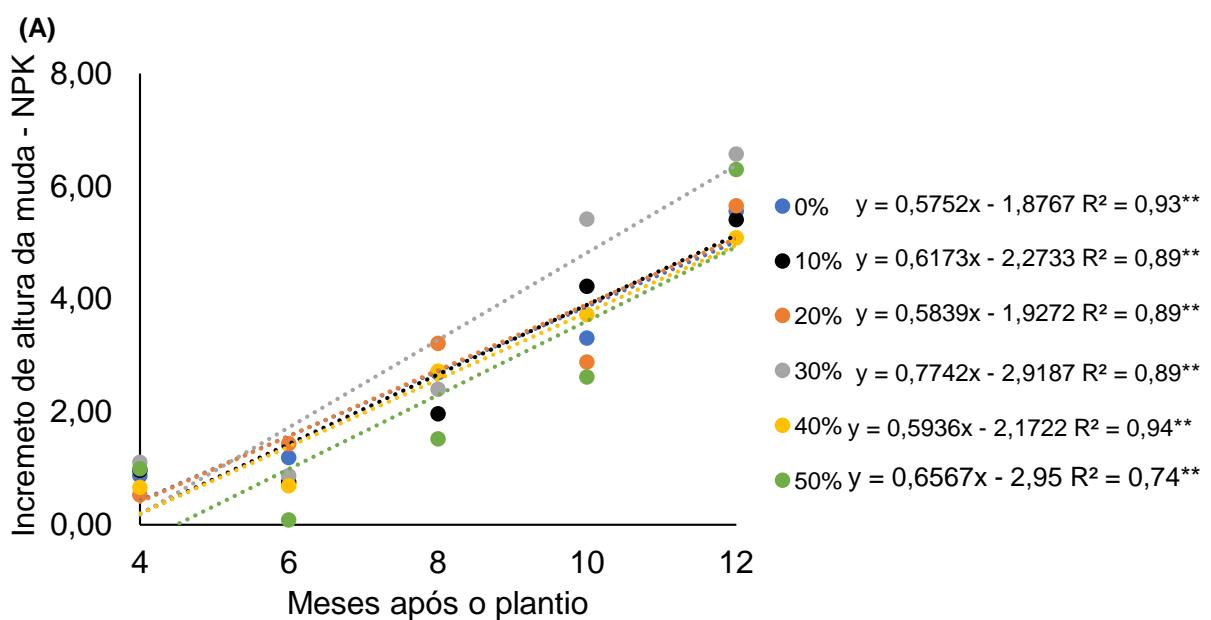
Altura da muda + adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes NPK (AM em cm - NPK), altura da muda + fertilizante de liberação lenta (AM em cm - FLL), diâmetro do colo + adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes (DC em mm - NPK), diâmetro do colo + fertilizante de liberação lenta (DC em mm + FLL), ns Não significativo; \*\* Significativo a 1 e 5% de probabilidade, GL: Grau de liberdade e CV: Coeficiente de variação.

O incremento mensal de altura das mudas sob biocarvão e adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes ajustou-se a uma regressão linear crescente, indicando crescimento contínuo ao longo dos 12 meses (Figura 12A). Esse crescimento linear ocorreu porque o fertilizante convencional NPK+ micronutrientes foi aplicado de forma parcelada ao longo de todo o experimento, garantindo um fornecimento contínuo e equilibrado.

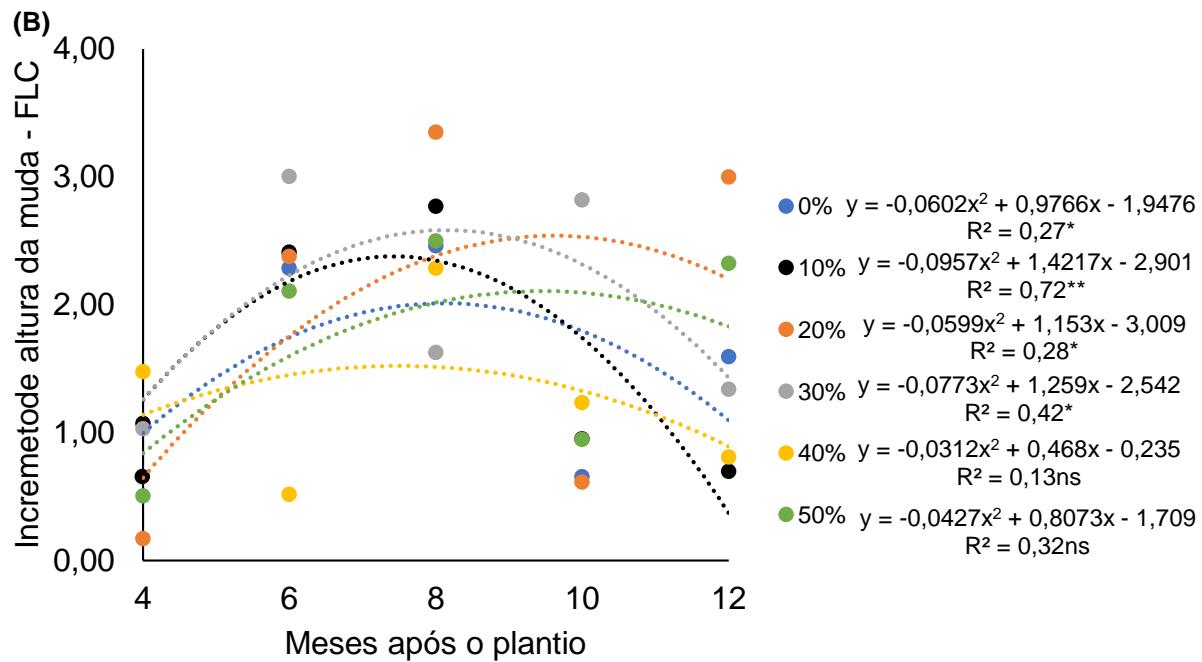
O NPK é altamente solúvel, seus nutrientes ficaram prontamente disponíveis para as raízes a cada nova aplicação, sustentando um padrão de crescimento

constante. Logo, o biocarvão pode contribuir para a fertilidade do solo e favorecer o crescimento das plantas, principalmente quando utilizado em solos férteis e em associação com fertilizantes (Steiner et al., 2007; Petter et al., 2012; Lima et al., 2015).

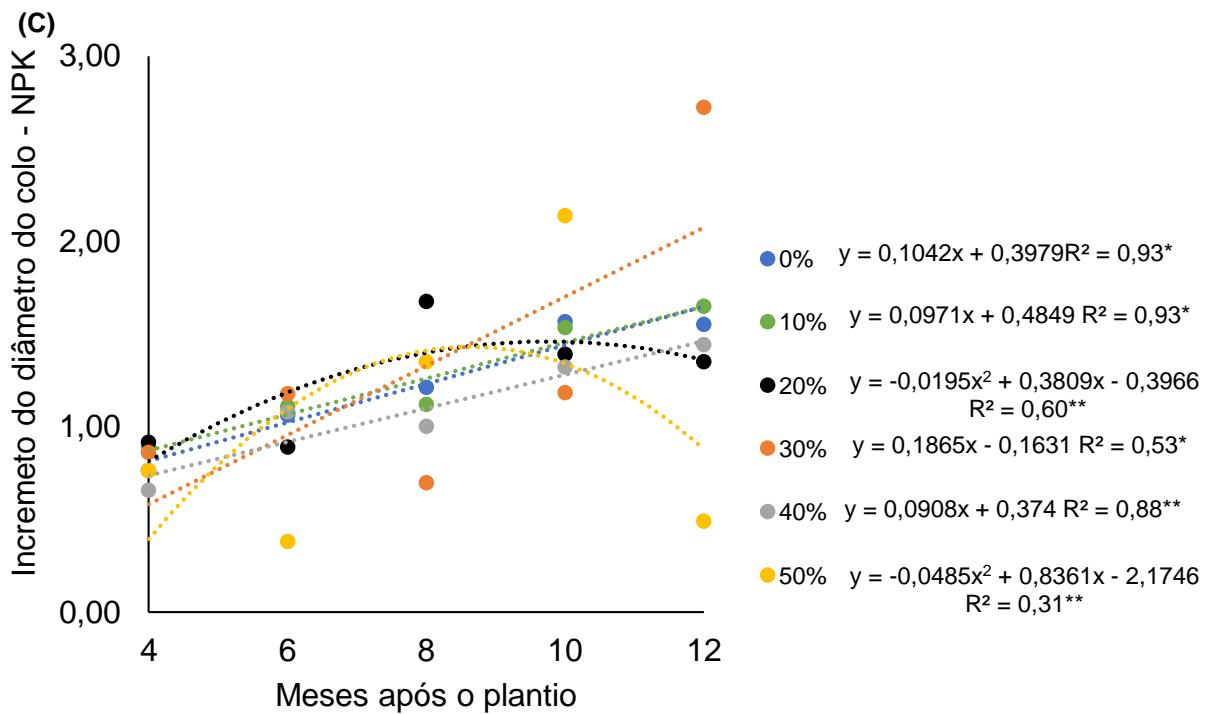
Figura 12 - O incremento de altura (A e B) e diâmetro (C e D) do colo de mudas de *Euterpe precatoria* Mart. em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL) ao longo de 12 meses submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil. Rio Branco, AC, 2025.



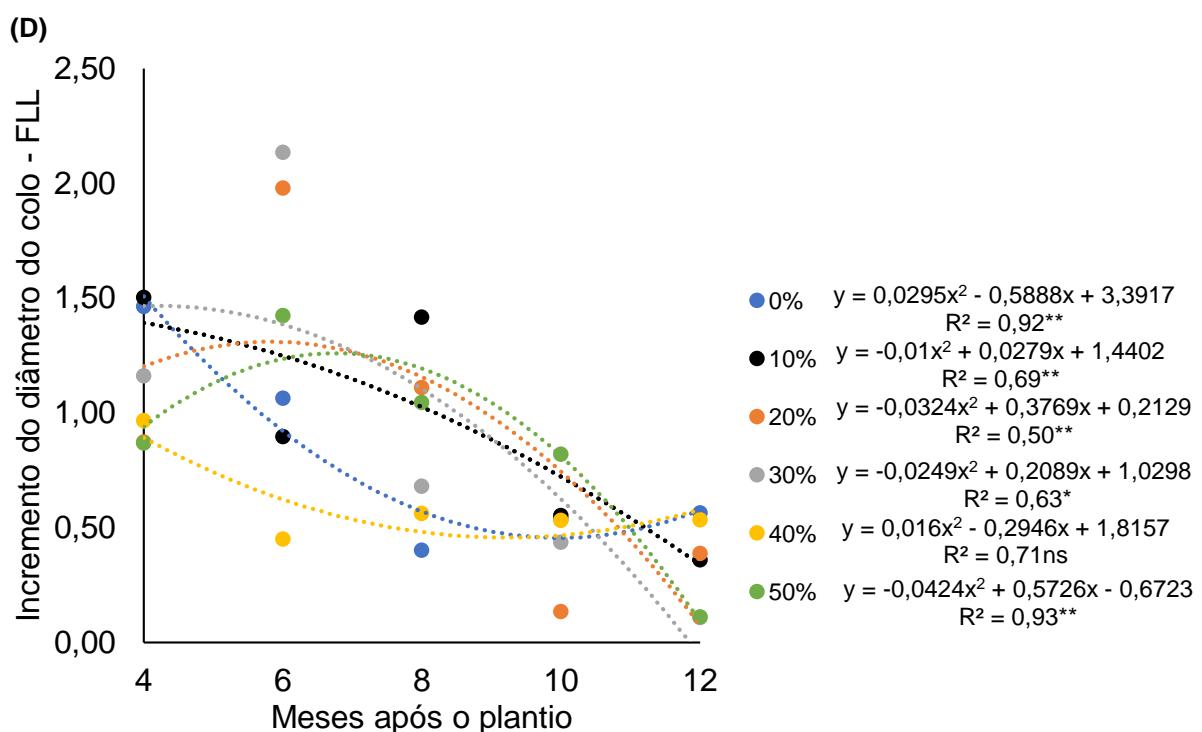
Biocarvão (%)	Meses após o plantio				
	4	6	8	10	12
0	0,87 a	1,19 a	2,70 a	3,31 b	5,56 a
10	0,97 a	0,76 a	7,97 a	4,22 a	5,41 a
20	0,54 a	1,44 a	3,22 a	2,88 b	5,65 a
30	1,11 a	0,86 a	2,40 a	5,42 a	6,57 a
40	0,66 a	0,69 a	2,72 a	3,72 b	5,08 a
50	0,99 a	0,08 a	1,52 a	2,61 b	6,29 a



Biocarvão (%)	Meses após o plantio				
	4	6	8	10	12
0	0,65 a	2,28 a	2,46 a	0,65 b	1,59 b
10	1,07 a	2,41 a	2,77 a	0,95 b	0,70 b
20	0,17 a	2,38 a	3,35 a	0,61 b	3,00 a
30	1,03 a	3,00 a	1,63 a	2,82 a	1,34 b
40	1,48 a	0,52 b	2,28 a	1,23 b	0,81 b
50	0,50 a	2,10 a	2,50 a	0,95 b	2,32 a



Biocarvão (%)	Meses após o plantio				
	4	6	8	10	12
0	0,76 a	1,06 a	1,21 a	1,57 a	1,55 b
10	0,89 a	1,11 a	1,12 a	1,53 a	1,65 b
20	0,92 a	0,89 a	1,67 a	1,39 a	1,35 b
30	0,86 a	1,18 a	0,70 a	1,18 a	2,72 a
40	0,66 a	1,08 a	1,00 a	1,32 a	1,44 b
50	0,76 a	0,38 a	1,35 a	2,14 a	0,49 c



Biocarvão (%)	Meses após o plantio				
	4	6	8	10	12
0	1,46 a	1,07 b	0,40 b	0,54 a	0,56 a
10	1,50 a	0,90 b	1,42 a	0,55 a	0,36 a
20	0,87 b	1,98 a	1,11 a	0,13 a	0,39 a
30	0,16 b	2,14 a	0,68 b	0,44 a	0,11 a
40	0,97 b	0,45 c	0,56 b	0,53 a	0,53 a
50	0,87 b	1,43 b	1,04 a	0,82 a	0,11 a

Médias seguidas de letras diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p>0,05$ ).

A adubação com FLL, associada a diferentes concentrações de biocarvão, seguiu uma regressão quadrática, com o crescimento máximo ocorrendo aos 8,11 meses (0%), 7,42 meses (10%), 9,62 meses (20%) e 8,14 meses (30%), com valores de incrementos de 2,01, 2,90, 2,53 e 2,58 cm, respectivamente (Figura 12B).

O FLL foi aplicado apenas no preparo do substrato, e sua liberação de nutrientes ocorreu de forma gradual, sendo fortemente influenciada por fatores ambientais como temperatura e umidade do solo. Nas condições climáticas de Rio Branco, Acre, com clima quente e úmido, a liberação dos nutrientes foi mais rápida, promovendo um crescimento acelerado nos primeiros meses, mas na medida que os

nutrientes disponíveis diminuíram, o crescimento das mudas desacelerou. Segundo Trenkel (2010), o Comitê Europeu de Normalização estabelece que os fertilizantes de liberação lenta devem liberar nutrientes de forma gradual a uma temperatura de 25°C.

O incremento do diâmetro das mudas com adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil seguiu regressão linear decrescente para as concentrações de 0%, 10%, 30% e 40%, indicando incremento contínuo do diâmetro do coleto (Figura 12C). Para 20% e 50%, o ajuste foi quadrático, com pontos de máxima de 9,76 e 8,62 meses e incrementos máximos de 1,46 e 1,42, respectivamente.

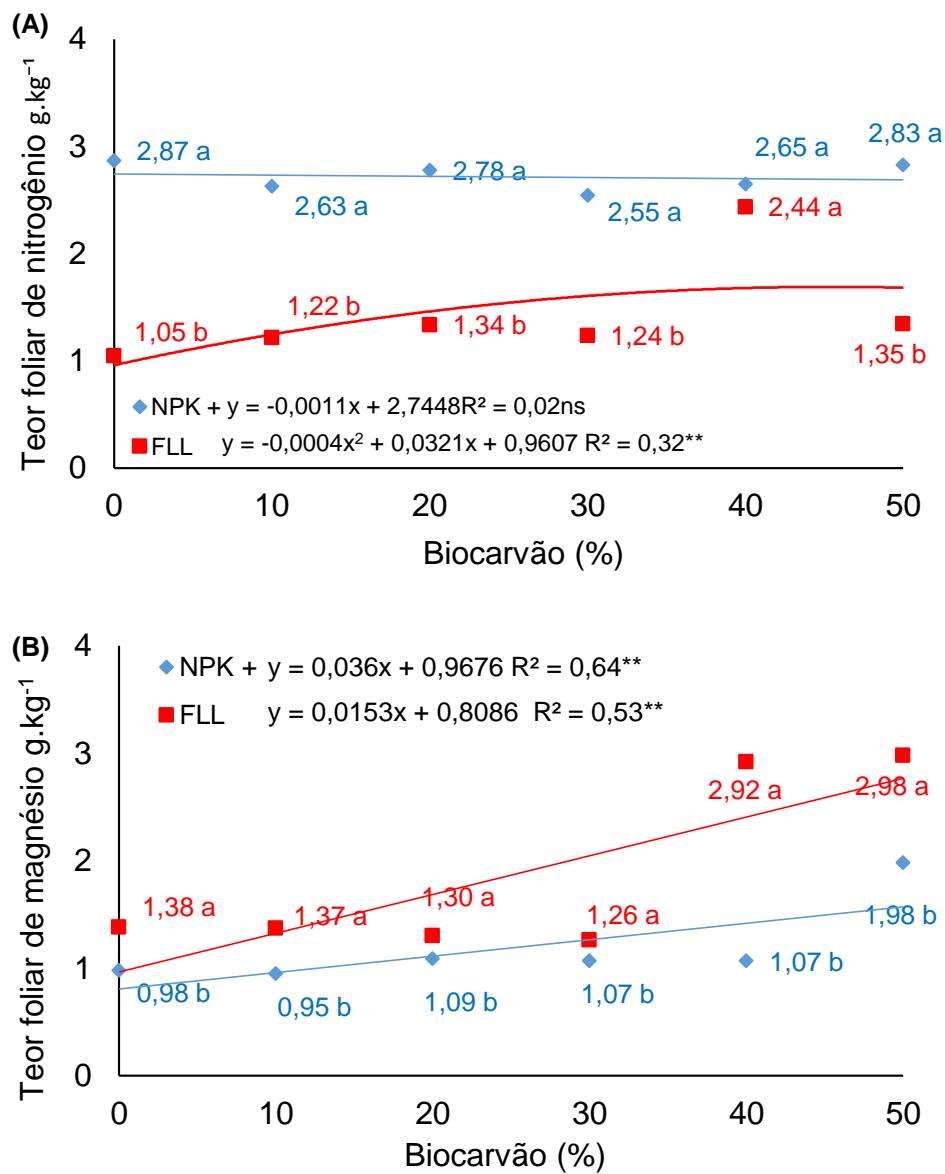
O incremento mensal do diâmetro do coleto ao longo do tempo, sob adubação de FLL e biocarvão ajustaram a regressão quadrática, com os pontos de máximo ocorrendo nos meses de 9,98 (0% biocarvão); 4,39 (10%); 5,81 (20%); 4,19 (30%); e 6,75 (50%), e os respectivos incrementos mensais do diâmetro foram de 0,45, 1,45, 1,30, 1,46, e 1,26 mm.

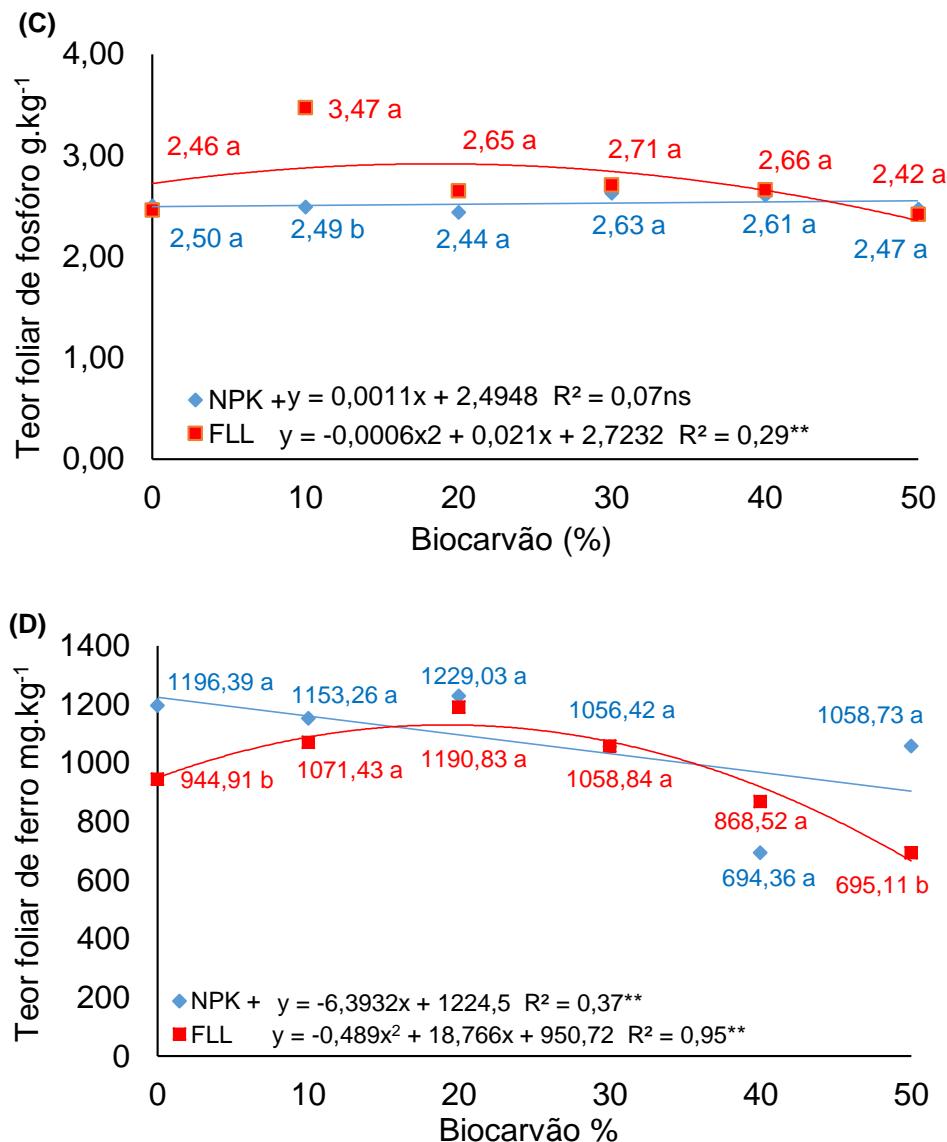
As mudas adubadas com fertilizantes com NPK+ convencional apresentaram um crescimento contínuo e linear, enquanto aquelas com FLL tiveram um crescimento inicial mais intenso, seguido por uma redução na taxa de incremento ao longo do tempo. Além disso, o espaço disponível no tubete pode ter influenciado a redução do crescimento das mudas em estágios avançados, restringindo o desenvolvimento do diâmetro do coleto e limitando a absorção de nutrientes.

#### **4.1.8 TEORES DE MACRO E MICRONUTRIENTES FOLIARES de *Euterpe precatoria* SOB CONDIÇÕES DE BIOCARVÃO versus ADUBAÇÃO**

O teor foliar de nitrogênio ajustou-se ao modelo de regressão linear na adubação com fertilizante convencional NPK + micronutriente (Figura 13A). Para o FLL, seguiu um comportamento de regressão quadrática, obtendo um ponto de máximo de 40,12% de biocarvão, resultando em 1,60 de teor. O biocarvão contribui para melhorar a fertilidade do solo, aumentando a retenção de nutrientes e a eficiência no uso do nitrogênio ao longo do tempo (Gao *et al.*, 2022).

Figura 13 - Teores de macro e micronutrientes folhas de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoia da castanha-do-brasil em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta. Rio Branco, AC, 2025.





Os teores foliares de magnésio ajustaram-se a um modelo de regressão linear crescente para ambas as adubações (Figura 13B). O tratamento com FLL mostrou-se superior a adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes, possivelmente devido à liberação gradual do magnésio, garantindo uma disponibilidade mais estável e sustentada ao longo do tempo. Estudos de Carvalho *et al.* (2014), Lima *et al.* (2016), Damaceno (2017) e Zampier (2023) que indicam que o aumento das proporções de biocarvão eleva a disponibilidade de magnésio no solo, reduz a acidez e favorece sua absorção pelas plantas.

No entanto, a concentração de 0% de biocarvão apresentou maior disponibilidade de Mg (Tabela 2), enquanto as demais concentrações resultaram em menor disponibilidade do nutriente. Esse efeito ao contrário pode ser explicado pelo fato de que as mudas de *Euterpe precatoria* receberam adubação contendo magnésio

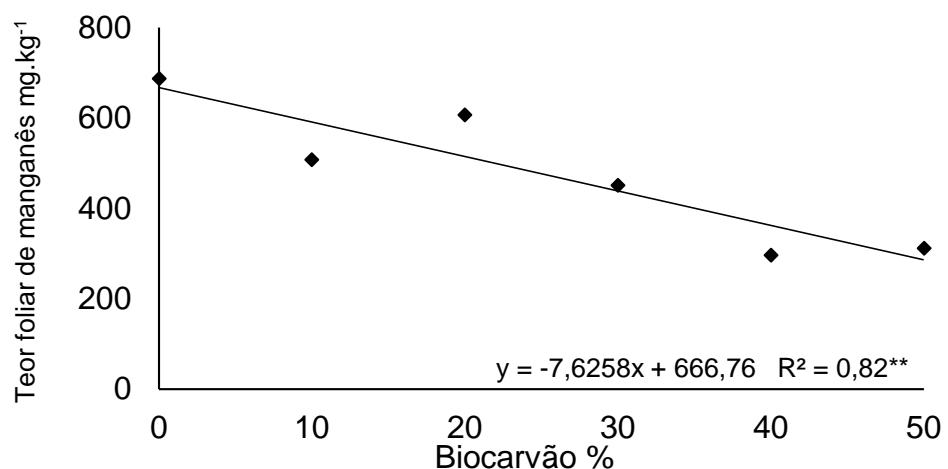
na formulação, o que contribuiu para um fornecimento contínuo do elemento e justificando o comportamento linear crescente.

O FLL apresentou ajuste significativo ao modelo de regressão quadrática para teor foliar de fósforo, com um ponto máximo de 17,5% de biocarvão e teor de 2,90 (Figura 13C). Indicando maior eficiência do FLL na liberação gradual do fósforo. Resultados semelhantes em outras culturas foram reportados por Lima *et al.* (2016) e Moline *et al.* (2015), que não observaram diferenças significativas nos teores foliares de fósforo em mudas de angico e laranjeira 'Pêra' com diferentes concentrações de biocarvão e adubações.

O teor foliar de ferro apresentou ajuste quadrático no FLL, alcançando um ponto máximo em 19,19% de biocarvão, resultando em 1130,76 de teor (Figura 13D). Por outro lado, a adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes se ajustou a um modelo linear decrescente, indicando uma redução dos teores de ferro com o aumento da concentração de biocarvão. Isso reforça a eficiência do FLL em maximizar a absorção de ferro, provavelmente devido à combinação de biocarvão e liberação lenta.

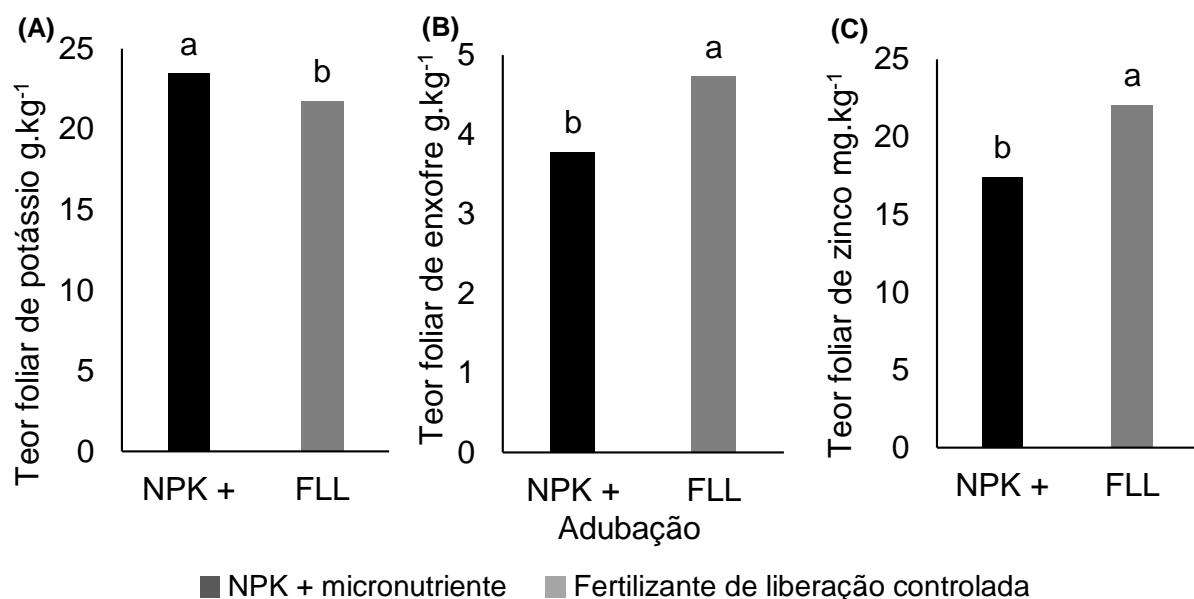
O teor foliar de manganês apresentou comportamento linear decrescente (Figura 14). Essa tendência pode estar relacionada ao impacto do biocarvão em alterar a disponibilidade de manganês no substrato, tornando-o menos acessível às mudas. O presente estudo concorda com Zampier (2023), a qual verificou que o teor de foliar de Mn foi diminuído, conforme o aumento das doses de biocarvão.

Figura 14 - Teor de manganês de folhas de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca da amêndoa da castanha-do-brasil. Rio Branco, AC, 2025.



A adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes ( $23,47 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) foi mais eficiente do que o FLL ( $21,75 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) no aumento dos teores foliares de potássio (Figura 15A). Enquanto, os teores foliares de enxofre e zinco apresentaram maiores teores com a adubação de FLL ( $4,73 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  e  $22,07 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , respectivos) em comparação com a adubação convencional ( $3,78 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  e  $17,45 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , respectivos (15 Figura B/C). Zampier (2023) observou resposta diferente em erva mate com teor foliar significativo de Zn com adubação convencional.

Figura 15 - Teores de potássio (A), enxofre (B) e zinco (C) de folhas de mudas de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste F. Rio Branco, AC, 2025.



O uso do biocarvão em diferentes proporções influenciou de maneira distinta o teor de macro e micronutrientes nas folhas de mudas de *Euterpe precatoria*, dependendo da adubação empregada. Enquanto o tratamento com a adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes mostrou maior eficiência na elevação dos teores de N, Fe e K que o fertilizante de liberação lenta (FLL), este destacou-se na absorção de magnésio e fósforo. Novak et al. (2009) destacaram que o biocarvão produzido a partir da casca do fruto da noqueira-pecã possui uma elevada capacidade de nutrientes, com destaque para fósforo (P), zinco (Zn) e manganês (Mn).

Com base na análise da Tabela 2 e nas variáveis estudadas, verificou-se que proporções de até 30% de biocarvão otimizam a disponibilidade de nutrientes (N, P,

K e Fe) e promovem melhorias significativas nas propriedades físicas do substrato formulado, como aumento do pH e capacidade de retenção de água (CRA).

Entretanto, o aumento excessivo do biocarvão, especialmente em proporções de 40-50%, compromete a eficiência do substrato. Níveis elevados de biocarvão reduzem a capacidade de troca catiônica e a retenção de água, além de aumentar a saturação do substrato com sais, o que impacta negativamente a condutividade elétrica e a qualidade química geral.

#### **4.2 EXPERIMENTO II - PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Euterpe precatoria* MART. EM SUBSTRATOS A BASE DE BIOCARVÃO DE CASCA DE CUPUAÇU E MANEJO DA ADUBAÇÃO**

Houve interação significativa entre os fatores biocarvão e adubação para as variáveis avaliadas, com exceção do número de folhas (NF) e dos teores foliares de nitrogênio (N), magnésio (Mg), potássio (K), cobre (Cu) e ferro (Fe) (Tabela 7).

Tabela 7 - Resumo da análise de variância das mudas de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação controlada. Rio Branco, Acre, 2025.

<b>Fonte de variação</b>	<b>GL</b>	<b>Quadrados médios</b>				
		<b>AM</b>	<b>AC</b>	<b>DC</b>	<b>NF</b>	<b>RAD</b>
<b>Biocarvão (A)</b>	5	39,29**	7,09**	2,92**	0,03ns	0,02*
<b>Adubo (B)</b>	1	808,83**	233,88**	27,09**	0,25ns	0,39**
<b>AxB</b>	5	12,73**	3,54**	1,71**	0,05ns	0,12**
<b>Bloco</b>	2	0,04**	0,25**	0,37ns	0,05ns	0,01ns
<b>Erro</b>	22	5,75	0,15	0,18	0,08	0,00
<b>CV (%)</b>	-	1,62	2,3	3,29	5,28	3,48
<b>Fonte de variação</b>	<b>GL</b>	<b>Quadrados médios</b>				
		<b>MSPA</b>	<b>MSR</b>	<b>MST</b>	<b>IQD</b>	<b>I.SPAD</b>
<b>Biocarvão (A)</b>	5	13,52**	0,24**	16,45**	0,19**	18,82**
<b>Adubo (B)</b>	1	504,82**	3,36**	426,00**	0,03*	5957,00**
<b>AxB</b>	5	3,67**	0,13**	4,71**	0,03**	1,37**
<b>Bloco</b>	2	0,00ns	0,00ns	0,01ns	0,00ns	0,15ns
<b>Erro</b>	22	0,00	0,00	0,01	0,00	0,20ns
<b>CV (%)</b>	-	0,67	5,43	1,75	2,52	1,45
<b>Fonte de variação</b>	<b>GL</b>	<b>Quadrados médios</b>				
		<b>N</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
<b>Biocarvão (A)</b>	5	0,03ns	0,14ns	0,06*	0,20**	27,26**
<b>Adubo (B)</b>	1	13,53**	1,66**	7,35**	1,14**	20,52ns
<b>AxB</b>	5	0,07ns	0,30**	0,04ns	0,77**	2,59ns
<b>Bloco</b>	2	0,01ns	0,41*	0,02ns	0,07ns	4,88ns
<b>Erro</b>	22	0,03	0,07	0,02	0,03	3,01

CV (%)	-	10,31	5,16	6,24	7,98	7,45
Fonte de variação	GL	Quadrados médios				
		S	Cu	Fe	Mn	Zn
Biocarvão (A)	5	0,93**	3,12**	54225,60ns	43222,94**	21,43**
Adubo (B)	1	7,48**	0,28ns	431289,91**	156574,53**	182,83**
AxB	5	0,34**	1,70ns	14065,04ns	58775,64**	15,60*
Bloco	2	0,04ns	2,04ns	1818,44ns	3448,58ns	0,11ns
Erro	22	0,07	0,77	9541,52	3549,58	4,09
CV (%)	-	7,18	61,59	11,27	15,04	9,7

Altura da muda total (AM), altura do caule (AC), diâmetro do colo (DC), número de folhas (NF), relação altura/diâmetro (RAD), parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST), Índice de qualidade Dickson (IQD), Índice de SPAD, Nitrogênio (N), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Fósforo (P), Potássio (K), Enxofre (S), Cubre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn). nsNão significativo; \*\* Significativo a 1 e 5% de probabilidade, GL: Grau de liberdade e CV: Coeficiente de variação.

#### 4.2.1 ALTURA DA MUDA E ALTURA DO CAULE

As variáveis altura da muda e altura do caule ajustaram-se ao modelo de regressão linear crescente (Figuras 16A/B e 17A/B), com a adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes apresentando maior eficiência em comparação ao fertilizante de liberação lenta (FLL). O desempenho superior é resultado da rápida disponibilização de nutrientes proporcionada pelo a adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes que atende de forma mais imediata às demandas nutricionais, especialmente durante as fases de crescimento.

Além disso, o presente estudo registrou alturas médias das mudas de *Euterpe precatoria* superiores às relatadas por Almeida *et al.* (2018), com 21,68 cm, e Araújo *et al.* (2020), com 23,3 cm, ambos utilizaram fertilizante de liberação lenta. Segundo Araújo *et al.* (2017), a aplicação de biocarvão como condicionador de solo pode melhorar a composição do substrato, reduzir os custos de produção e minimizar os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado de resíduos.

Figura 16 - Altura total e do caule de mudas de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem, submetidas a diferentes concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Rio Branco, AC, 2025.

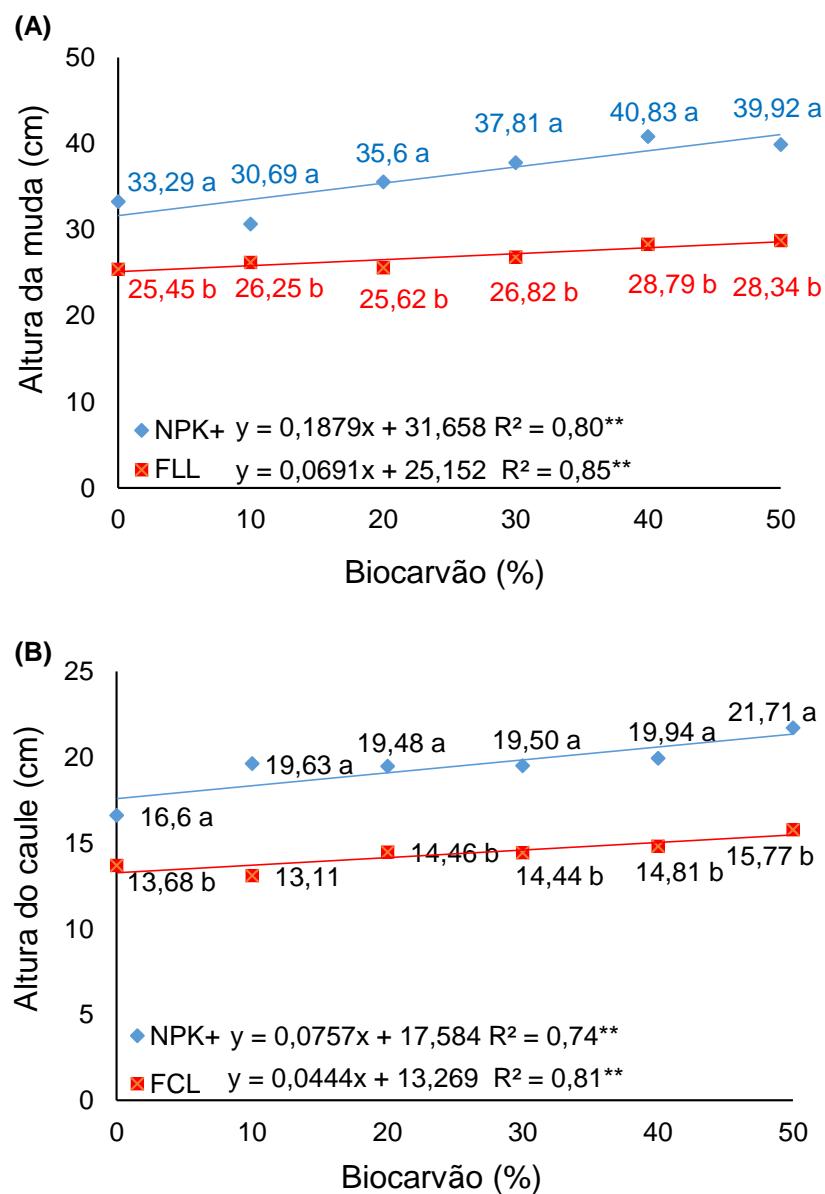
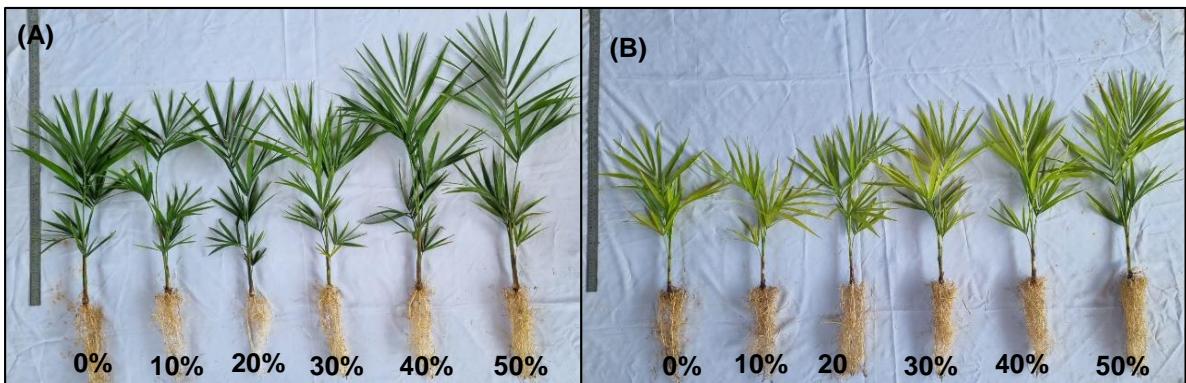


Figura 17 - Mudas de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem, submetidas a diferenças concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu e adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e (B) fertilizante de liberação lenta (FLL). Foto: Conceição Paula Bandeira Rufino. Rio Branco, AC, 2025.



Entretanto, o fertilizante de liberação lenta não supriu adequadamente as necessidades nutricionais das plantas. As condições ambientais dos trópicos úmidos, caracterizadas por altas temperaturas e elevada umidade, aceleram a mineralização e o consumo dos nutrientes presentes no substrato.

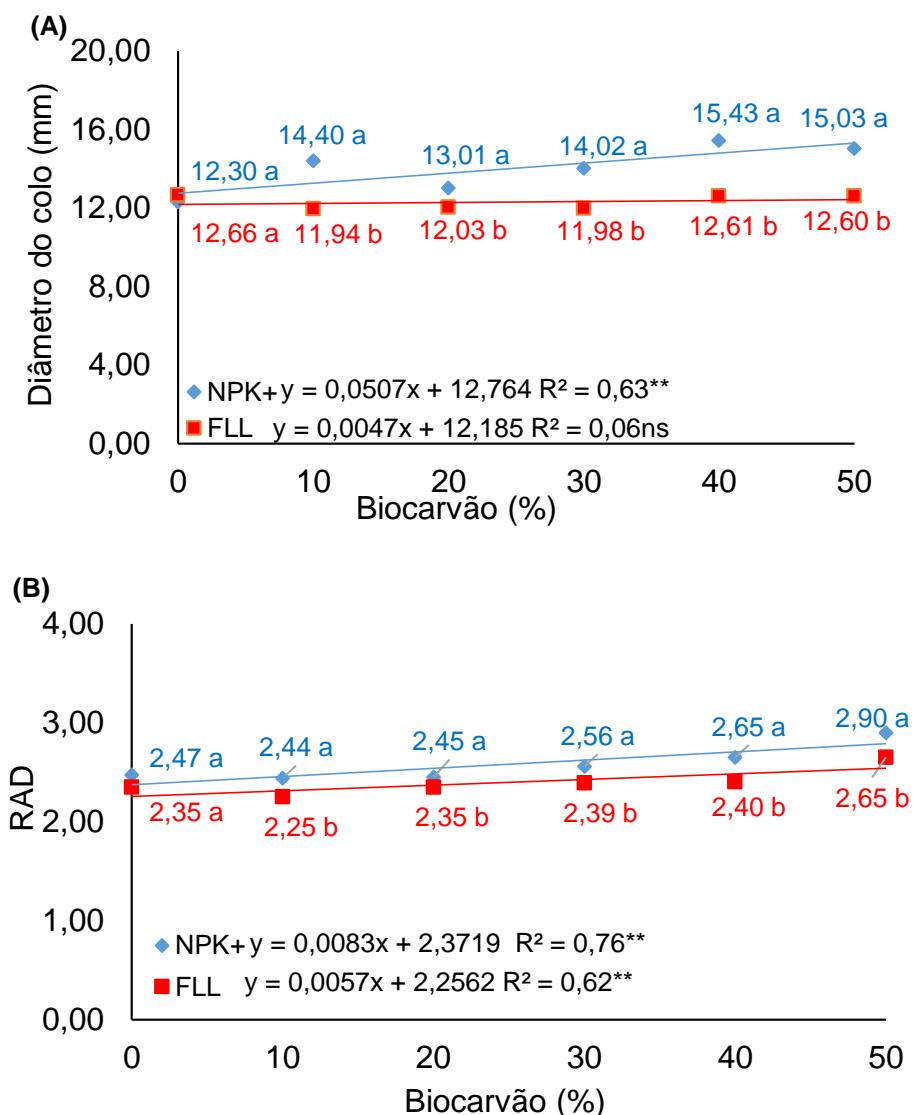
O fertilizante de liberação lenta utilizado (Basacote® - 12 meses), apenas deve ser indicado para liberação em 12 meses, foi originalmente formulado para regiões de clima temperado, onde a liberação dos nutrientes ocorre de forma lenta e cadenciada. No entanto, em condições de viveiro em clima tropical, com elevadas temperaturas e irrigações frequentes, ocorre a rápida solubilização dos fertilizantes. Portanto, irrigações frequentes na produção de mudas aumenta a lixiviação de nutrientes, demandando reposições fracionadas por meio de aplicações foliares, adubações de cobertura ou fertirrigação (Teixeira *et al.*, 2009).

A adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes, associada a 50% de biocarvão de casca de cupuaçu, promoveu um crescimento vigoroso das mudas (Figura 17). A interação entre os fatores confirma os maiores teores de nitrogênio (N) e potássio (K), com 56 e 375 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 3), contribuindo diretamente para o maior vigor de crescimento. O nitrogênio desempenha um papel essencial na fotossíntese e na síntese de proteínas (Sun *et al.*, 2020), enquanto o potássio é fundamental para a regulação osmótica, expansão celular e resistência ao estresse (Amorim *et al.*, 2021). Dessa forma, essa combinação, otimizou as condições nutricionais do substrato, promovendo um crescimento vigoroso e saudável das mudas.

#### 4.2.2 DIÂMETRO DO COLO E RELAÇÃO ALTURA DA MUDA/DIÂMETRO (RAD)

O diâmetro do colo (Figura 18A) e a relação altura/diâmetro (Figura 18B) ajustaram-se a um modelo de regressão linear, e ainda fertilizante convencional NPK + micronutrientes foi superior FLL. Os resultados obtidos para o diâmetro do colete de *Euterpe precatoria* foram semelhantes aos reportados por Rufino et al. (2023), que registraram um diâmetro médio de 16,45 mm, e por Araújo et al. (2020), com 11,01 mm, para a mesma espécie.

Figura 18 - Diâmetro do colo (A) e Relação altura e diâmetro (RAD) de mudas de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Rio Branco, AC, 2025.



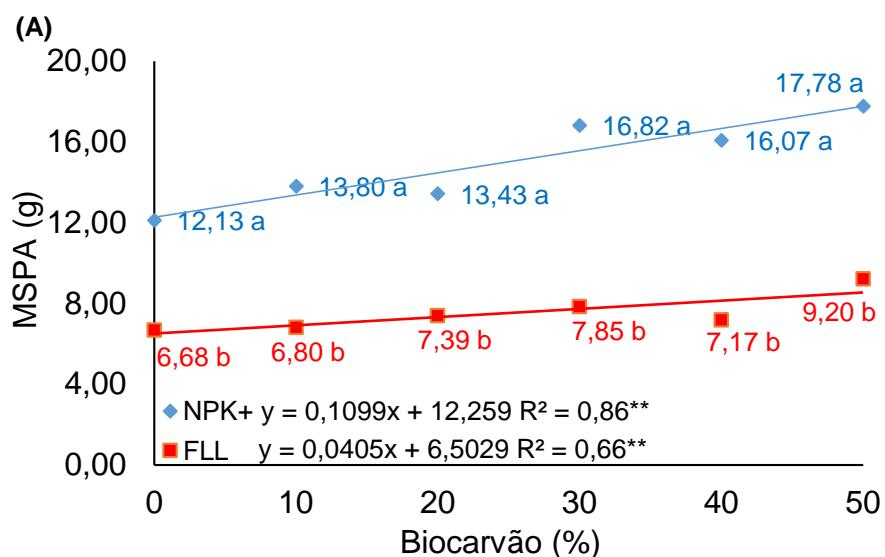
O diâmetro do colo é um parâmetro essencial, pois influencia diretamente o transporte de nutrientes e fotoassimilados, além de conferir maior resistência ao tombamento (Dutra *et al.*, 2015). Stuepp *et al.* (2020) destacaram que o diâmetro do coleto está diretamente relacionado à sobrevivência e ao estabelecimento das mudas em campo, tornando essa característica fundamental para o sucesso no plantio.

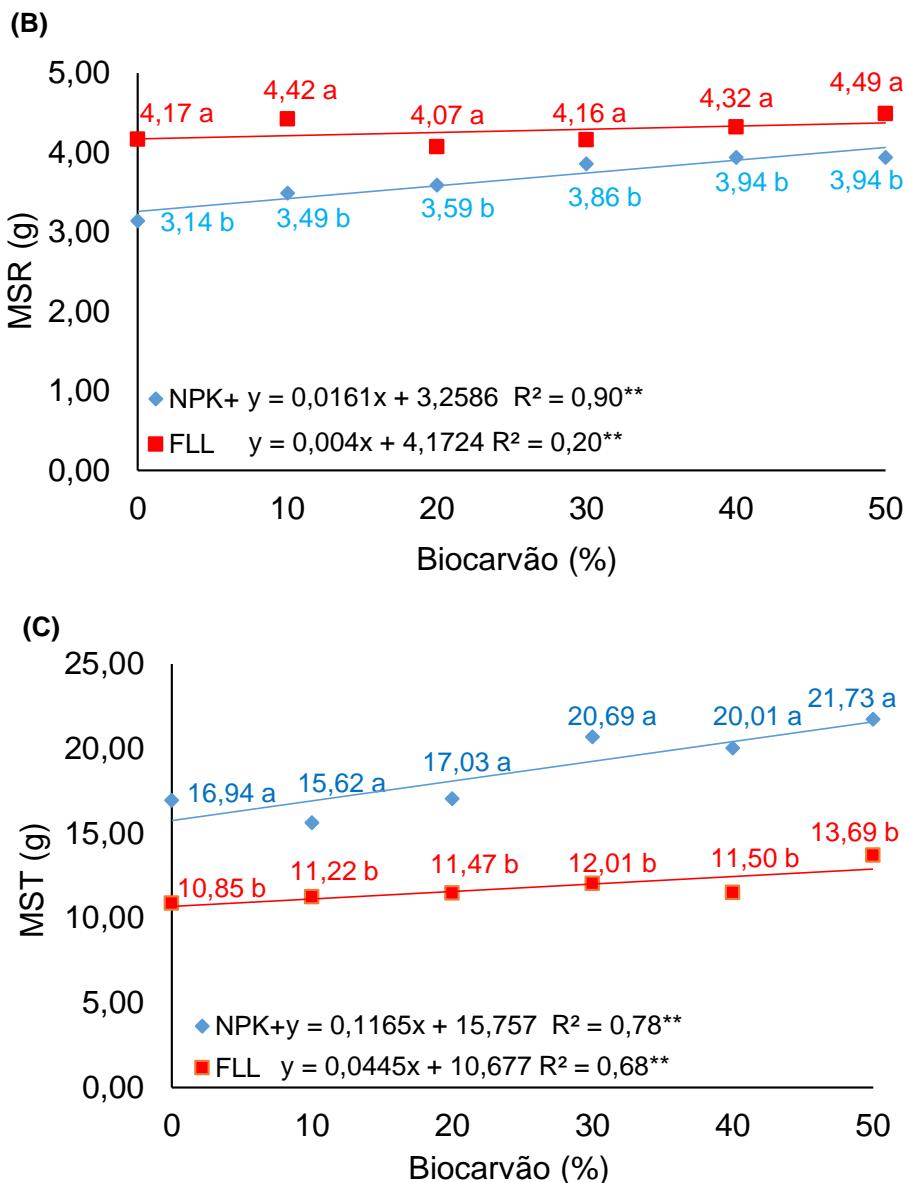
Além disso, a relação altura/diâmetro também é um indicador relevante para a avaliação da qualidade das mudas, pois reflete o equilíbrio morfológico e a robustez estrutural (Grossnickle; Macdonald, 2018). Quando analisados em conjunto, esses atributos fornecem uma visão mais completa sobre o vigor e a estabilidade das mudas, aspectos fundamentais para garantir seu desempenho e adaptação em campo.

#### 4.2.3 MASSA SECA DA PARTE AÉREA, RAIZ E TOTAL

As variáveis massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST) e massa seca da raiz (MSR) ajustaram-se ao modelo de regressão linear crescente (Figura 19A/B/C). Para MSPA e MST, adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes foi superior a fertilizante de liberação lenta, resultando em maior produção de biomassa na parte aérea e total da planta.

Figura 19 - Massa seca de parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST) de mudas de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Rio Branco, AC, 2025.





Entretanto, a MSR apresentou melhor desempenho na adubação com FLL (Figura 19C). Assim, indicando a utilização de fertilizante de liberação lenta, aliado ao alto teor de fósforo ( $229,56 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) no substrato contendo 50% de biocarvão de casca de cupuaçu (Tabela 3), proporcionou um ambiente favorável ao desenvolvimento radicular, garantindo um sistema de absorção mais robusto, mas, insuficiente para um maior crescimento das mudas.

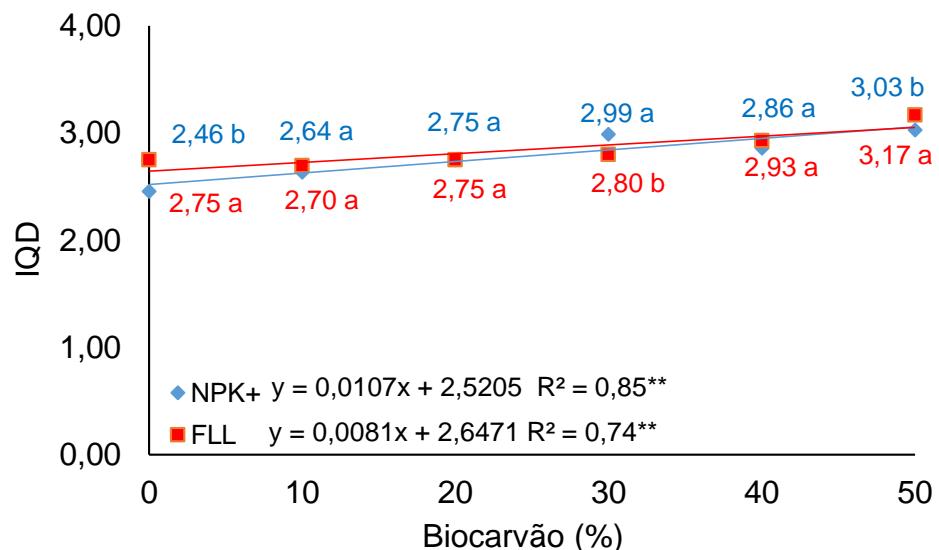
A sinergia entre o biocarvão e o fertilizante de liberação lenta foi determinante no incremento da biomassa radicular. Glaser e Lehr (2019) destacam que o biocarvão contribui para o aumento da concentração de fósforo no substrato, potencializando seus efeitos. Esse nutriente é essencial para o metabolismo celular e na transferência

de energia, favorecendo no crescimento radicular ao ser disponibilizado de forma sustentada e concentrada no substrato (Otoni; Sousa, 2024).

#### 4.2.4 ÍNDICE DE QUALIDADE DE MUDA DE DICKSON (IQD)

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) ajustou-se a uma regressão linear crescente para ambas as fertilizações (Figura 20). Assim, não foi obtido ponto de máxima, portanto, as mudas respondem positivamente a maiores concentrações de biocarvão. O fertilizante de liberação lenta (FLL) foi mais eficiente, alcançando um IQD de 3,17, com 50% de biocarvão. Estudos anteriores sobre *Euterpe precatoria* relatam variações no IQD entre 2 e 3, dependendo das condições de cultivo. Rufino *et al.* (2023), Araújo *et al.* (2020) e Almeida *et al.* (2018) observaram em mudas de açaizeiro solteiro, IQDs de 3,57; 2,24 e 2,33, respectivamente, utilizando fertilizante de liberação lenta.

Figura 20 - Índice de qualidade Dickson (IQD) de mudas de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Rio Branco, AC, 2025.



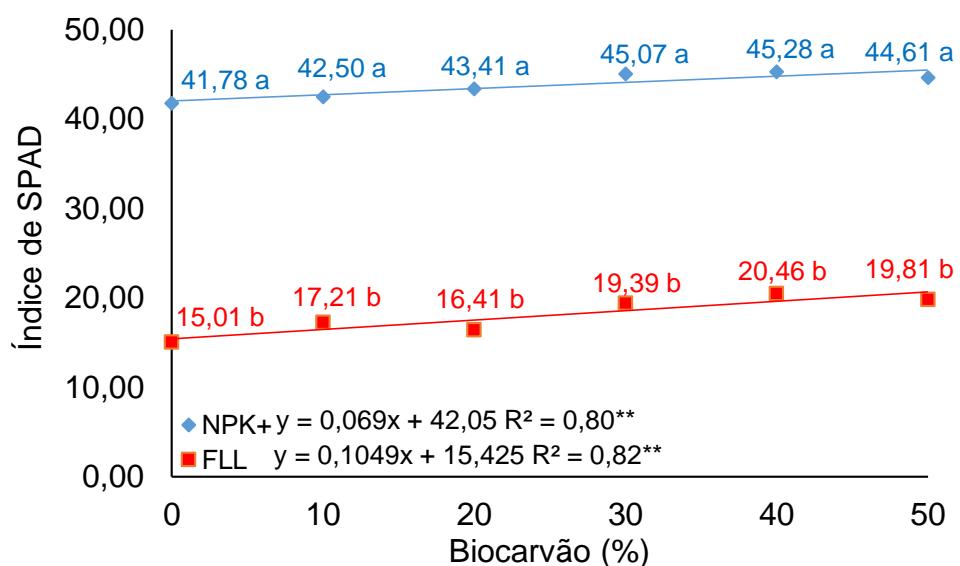
O IQD é um parâmetro essencial na seleção de mudas de qualidade para realização de plantio definitivo, pois considera múltiplos aspectos morfológicos que influenciam diretamente na qualidade e taxa de sobrevivência. O índice envolve fatores como a robustez e o equilíbrio na distribuição da biomassa (Bonamigo *et al.*, 2016). Além disso, sua obtenção está diretamente relacionada a variáveis produtivas,

incluindo o recipiente utilizado, substrato, época de semeadura, tratamentos pré-germinativos, métodos de adubação e as condições ambientais durante o cultivo (Almeida *et al.*, 2018).

#### 4.2.5 ÍNDICE SPAD

O índice de SPAD apresentou um ajuste ao modelo de regressão linear crescente para ambas as adubações, com a adubação de fertilizante convencional NPK + micronutrientes alcançando a maior concentração no índice SPAD com a maior concentração de biocarvão (Figura 21).

Figura 21 - Índice de SPAD de mudas de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Rio Branco, AC, 2025.



A adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes resultou em um aumento significativo no índice SPAD, indicando uma maior concentração de nitrogênio (N) nas mudas de *Euterpe precatoria*, conforme evidenciado pela intensidade da cor verde das folhas (Figuras 17A e 21). O índice SPAD reflete o aumento da intensidade da cor verde da planta, funcionando como uma medida indireta do teor de clorofila e um indicador do estado de nitrogênio (N), estando diretamente correlacionado com sua concentração nas plantas (Vidigal *et al.*, 2018;

Wenneck *et al.*, 2021). Aumento diretamente ligado à maior síntese de clorofila, intensificação da atividade fotossintética e, ao potencial produtivo das mudas (Taiz; Zeiger, 2017).

Contudo, a adubação com FLL também apresentou resposta linear aos percentuais de biocarvão, porém com menor concentração de N, refletida na menor intensidade da coloração verde das folhas, possivelmente com deficiência nutricional (Figuras 17B e 2). Além disso, o índice SPAD possui a capacidade de detectar o aparecimento da deficiência de N nas plantas (Kalaji *et al.*, 2017). No entanto, no caso do fertilizante de liberação lenta, não foi suficiente para suprir as necessidades nutricionais das mudas de *Euterpe precatoria* ao longo dos 12 meses de cultivo.

#### 4.2.6 TAXA DE CRESCIMENTO RELATIVO

Houve interação significativa para as variáveis de altura da muda + adubação convencional com NPK (AM - NPK), altura da muda + fertilizante de liberação lenta (AM - FLL), diâmetro do colo + adubação convencional com NPK (DC - NPK) e diâmetro do colo + fertilizante de liberação lenta (DC + FLL) (Tabela 8).

Tabela 8 - Resumo da análise de variância do incremento mensal em altura e diâmetro do colo de mudas de *Euterpe precatoria* Mart. em função adubação de NPK e fertilizante de liberação lenta ao longo de 12 meses submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu. Rio Branco, AC, 2025.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		AM - NPK	AM - FLL	DC - NPK	DC - FLL
<b>Biocarvão (A)</b>	5	2,48**	0,32**	0,19*	0,01ns
<b>Meses (B)</b>	4	105,45**	4,77**	0,92**	4,52**
<b>AxB</b>	20	2,87**	0,47**	0,30**	0,14**
<b>Bloco</b>	2	0,01ns	0,00ns	0,00ns	0,03ns
<b>Erro</b>	58	0,09	0,08	0,07	0,06
<b>CV (%)</b>	-	10,24	14,53	24,90	28,94

Altura da muda + adubação convencional com NPK (AM - NPK), altura da muda + fertilizante de liberação lenta (AM - FLL), diâmetro do colo + adubação convencional com NPK (DC - NPK), diâmetro do colo + fertilizante de liberação lenta (DC + FLL), ns Não significativo; \*\* Significativo a 1 e 5% de probabilidade, GL: Grau de liberdade e CV: Coeficiente de variação.

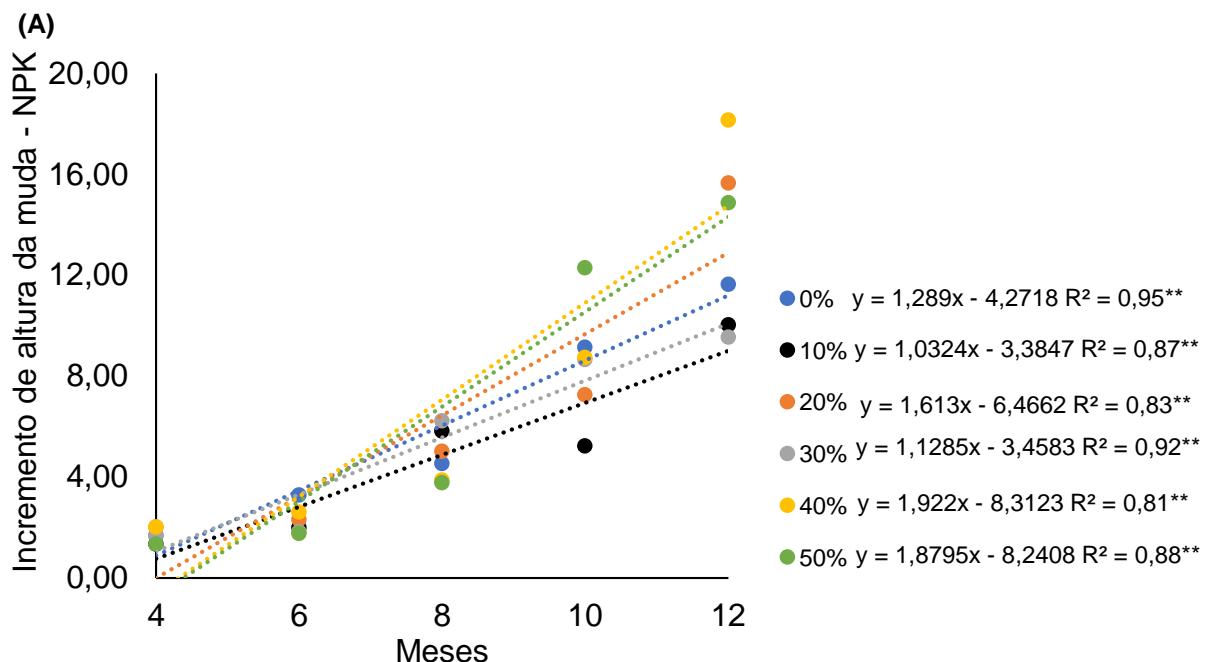
O incremento mensal de altura das mudas cultivadas em biocarvão associado à adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes ajustou-se a uma regressão linear crescente, com crescimento contínuo ao longo dos 12 meses de

estudo (Figura 22A). Entretanto, o incremento em altura das mudas com biocarvão e fertilizante de liberação lenta (FLL) ajustou-se a uma regressão quadrática, em que o incremento máximo variou de acordo com a concentração de biocarvão ao longo do tempo: 8,33 meses (0%), 9,22 meses (10%), 8,29 meses (20%), 9,39 meses (30%), 9,02 meses (40%) e 9,26 meses (50%), com valores de incremento máximo de 4,42; 4,17; 5,06; 4,95; 5,12 e 5,45 cm, respectivamente (Figura 22B).

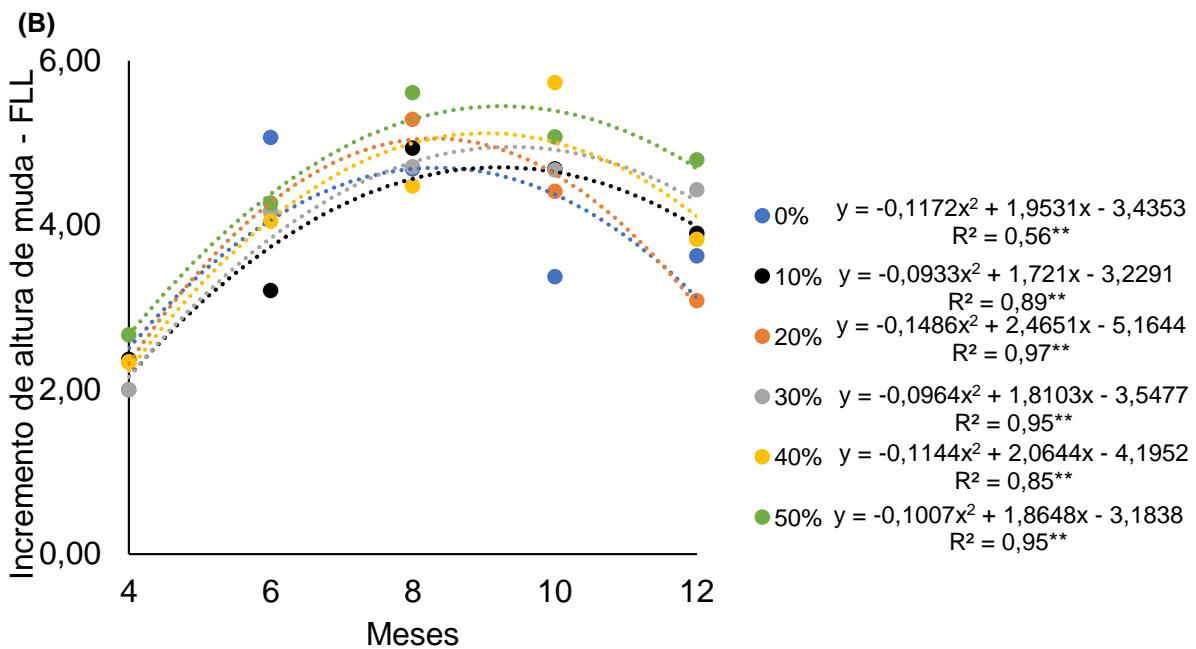
A adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes, com aplicações quinzenais, proporcionou uma nutrição mais equilibrada e contínua, favorecendo o crescimento das mudas de açaizeiro solteiro ao longo de 12 meses após a repicagem. No entanto, o fertilizante de liberação lenta aplicado em dose única, mostrou eficiência por aproximadamente 9 meses, mas com limitações em suprir as necessidades nutricionais das mudas em períodos mais longos (Figura 22B).

O comportamento pode estar associado a fatores ambientais, como irrigação, umidade e temperaturas elevadas, que podem intensificar a permeabilidade do revestimento dos fertilizantes encapsulados, acelerando a liberação e comprometendo sua eficiência ao longo do tempo. Segundo Trenkel (2010), o Comitê Europeu de Normalização estabelece que, para ser classificado como de liberação lenta, um fertilizante deve atender a determinados critérios a 25°C: no máximo 15% dos nutrientes devem ser liberados em 24 horas, não mais que 75% em 28 dias e, no mínimo, 75% dentro do período estipulado pelo fabricante.

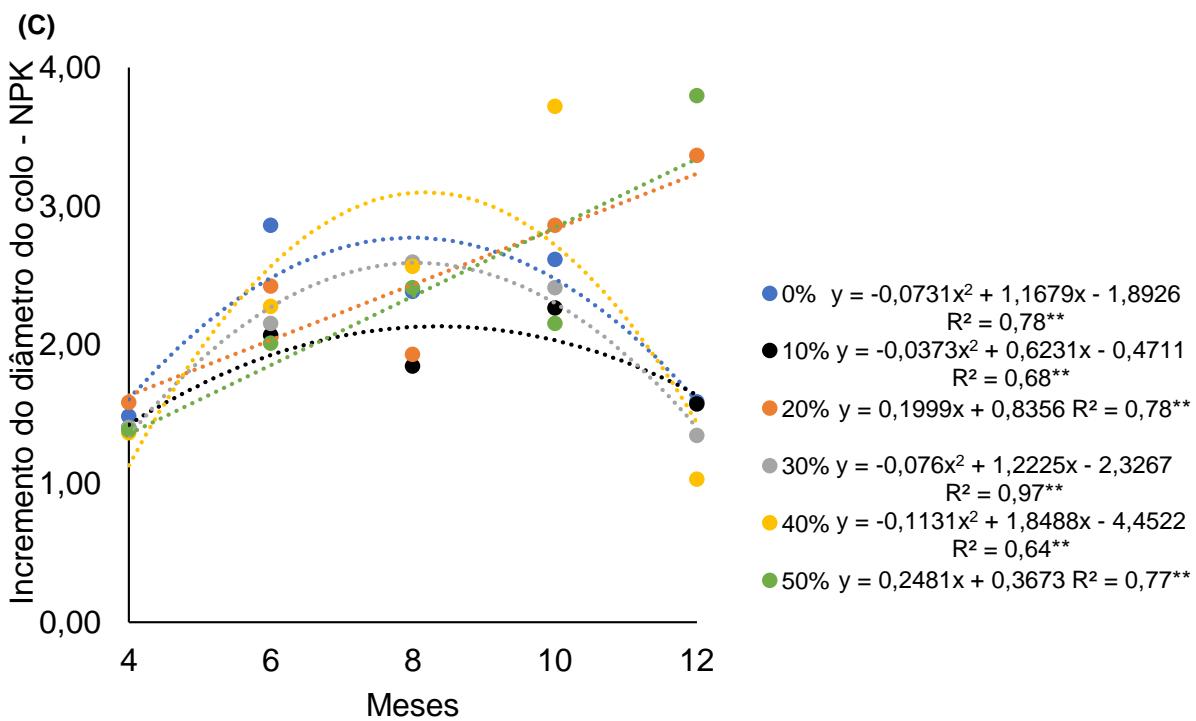
Figura 22 - Incremento mensal de altura (A e B) e diâmetro (C e D) do colo de mudas de *Euterpe precatoria* Mart. em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL) ao longo de 12 meses submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu. Rio Branco, AC, 2025.



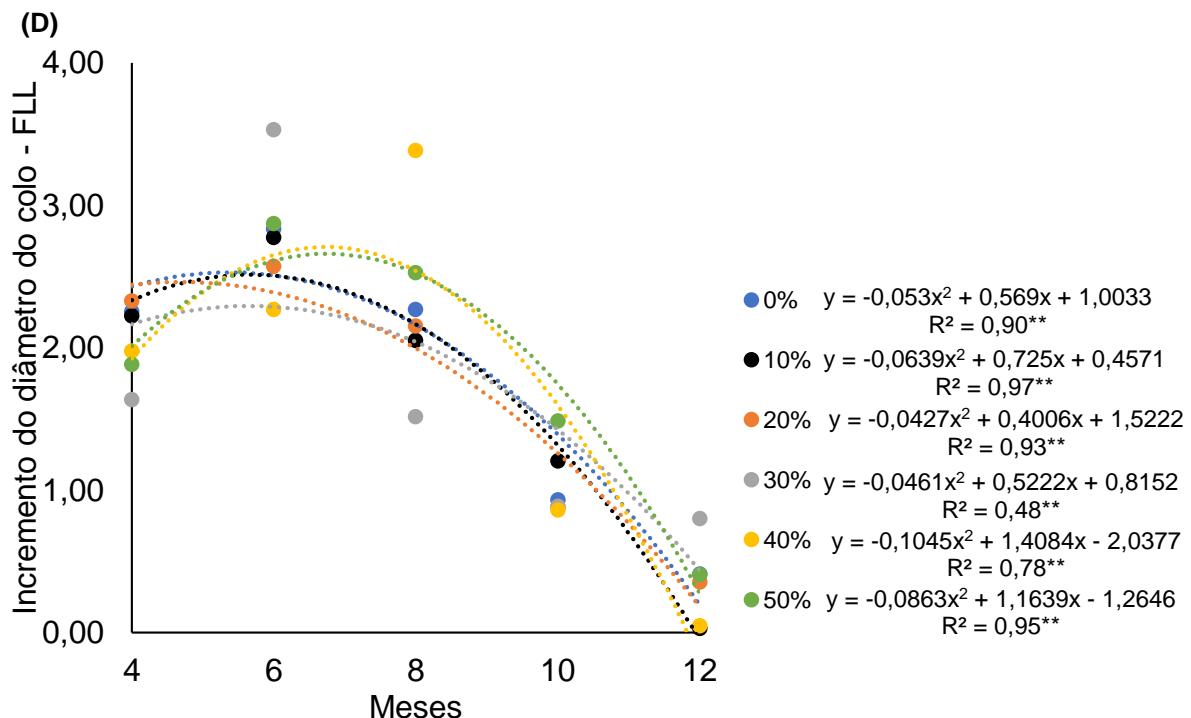
Biocarvão (%)	Meses após o plantio				
	4	6	8	10	12
0	1,67 a	3,26 a	4,52 a	9,13 b	11,62 c
10	1,33 a	1,97 b	5,81 a	5,23 d	10,03 d
20	2,00 a	2,29 b	5,00 b	7,26 c	15,65 b
30	1,67 a	1,80 b	6,20 a	8,64 b	9,53 d
40	2,00 a	2,59 a	3,85 b	8,73 b	18,15 a
50	1,33 a	1,74 b	3,76 b	12,28 a	14,86 b



Biocarvão (%)	Meses após o plantio				
	4	6	8	10	12
0	2,00 a	5,07 a	4,69 b	3,37 b	3,62 b
10	2,37 a	3,20 b	4,94 b	4,69 a	3,90 b
20	2,33 a	4,16 a	5,29 a	4,41 a	3,08 b
30	2,00 a	4,17 a	4,71 b	4,67 a	4,43 a
40	2,33 a	4,05 a	4,47 b	5,74 a	3,83 b
50	2,67 a	4,27 a	5,61 a	5,08 a	4,80 a



Biocarvão (%)	Meses após o plantio				
	4	6	8	10	12
0	1,49 a	2,86 a	2,38 a	2,62 a	1,59 b
10	1,40 a	2,07 a	1,85 a	2,27 a	1,57 b
20	1,59 a	2,43 a	1,93 a	2,86 a	3,37 a
30	1,41 a	2,15 a	2,60 a	2,41 a	1,35 b
40	1,37 a	2,28 a	2,57 a	3,72 b	1,03 b
50	1,38 a	2,01 a	2,41 a	2,51 a	3,80 a



Biocarvão (%)	Meses após o plantio				
	4	6	8	10	12
0	2,25 a	2,83 a	2,27 b	0,93 a	0,41 a
10	2,22 a	2,77 a	2,05 b	1,20 a	0,03 a
20	2,23 a	2,57 a	2,15 b	0,88 a	0,35 a
30	1,63 a	3,35 a	1,51 b	0,89 a	0,80 a
40	1,98 a	2,27 a	3,38 a	0,86 a	0,04 a
50	1,88 a	2,87 a	2,53 b	1,49 a	0,41 a

Médias seguidas de letras diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p>0,05$ ).

O incremento mensal do diâmetro do colo nas mudas sob utilização de biocarvão e adubação convencional (NPK) seguiu um modelo de regressão quadrática para as concentrações de 0, 10, 30 e 40% de biocarvão, com pontos de máximo observados aos 7,99; 8,35; 8,04 e 8,17 meses, respectivamente, e incrementos correspondentes de 2,77; 2,13; 2,59 e 3,10 (Figura 22C). Para as concentrações de 20 e 50% de biocarvão de cupuaçu, o incremento ajustou-se a um modelo linear crescente.

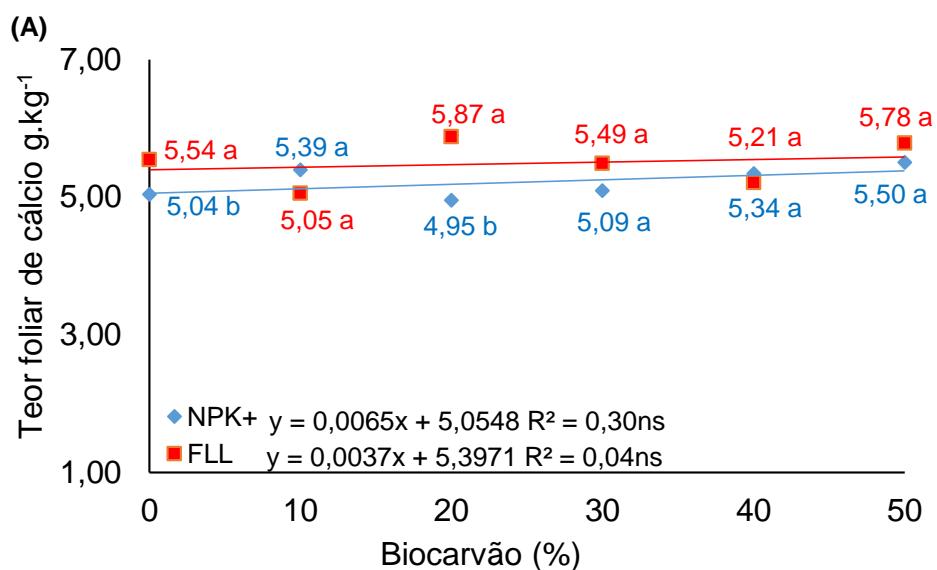
Já o desenvolvimento do diâmetro do colo sob biocarvão combinado ao fertilizante de liberação lenta seguiu um padrão de regressão quadrática (Figura 22D).

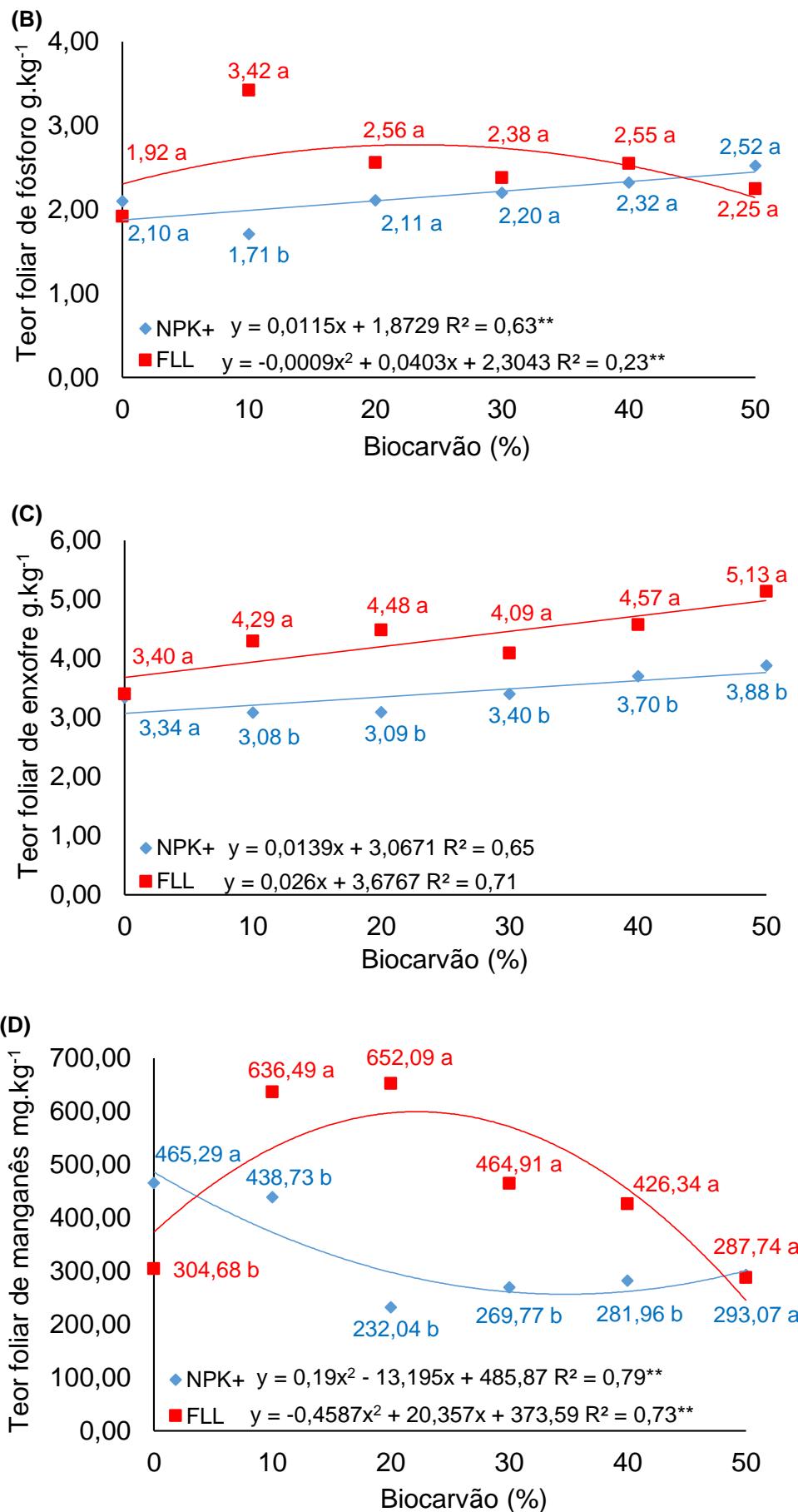
Os pontos de máximo foram de 5,37; 5,67; 4,69; 5,66; 6,74 e 6,74 meses para as respectivas concentrações de 0, 10, 20, 30, 40 e 50% de biocarvão, com incrementos de 2,53; 2,51; 2,46; 2,29; 2,71 e 2,66. Destaca-se que o diâmetro do colo das mudas de açaizeiro solteiro apresentou crescimento significativo cerca de seis meses, com redução progressiva do incremento ao longo do tempo.

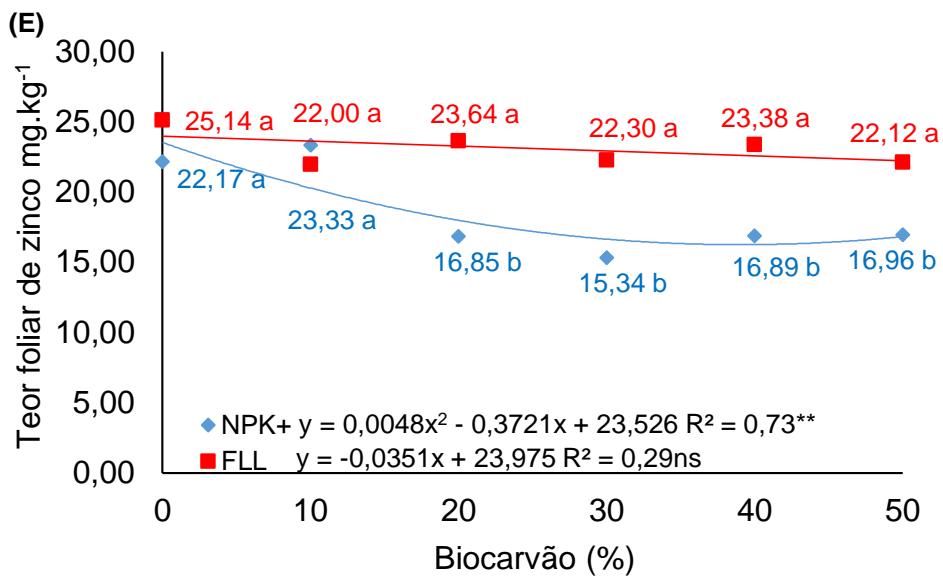
#### **4.2.7 TEORES DE MACRO E MICRONUTRIENTES FOLIARES de *Euterpe precatoria* SOB CONDIÇÕES DE BIOCARVÃO versus ADUBAÇÃO**

O teor foliar de cálcio (Ca) não diferiu significativamente (Figura 23A). O teor foliar de fósforo (P) apresentou um ajuste linear crescente a adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes, com aumento contínuo nos teores foliares de fósforo, atingindo  $2,52 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  com 50% de biocarvão. Em contrapartida, a adubação com FLL atingiu um ponto máximo com 22,39% de biocarvão, resultando em  $2,76 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  (Figura 23B).

Figura 23 - Teores foliares de cálcio (A), fósforo (B), enxofre (C), manganês (D) e zinco (E) de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta. Rio Branco, AC, 2025.







Ainda, o substrato com 50% de biocarvão apresentou um teor elevado de fósforo ( $229,56 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , Tabela 3), destacando sua eficiência na retenção e liberação gradual do nutriente. O comportamento reforça o potencial do biocarvão como condicionador de solo, especialmente quando combinado ao FLL, proporcionando maior disponibilidade de P ao longo do tempo. Os teores foliares de P em *Euterpe precatoria* sob adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e FLL estão em conformidade com os resultados de Araújo *et al.* (2024), que relataram um teor foliar de  $2,25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  de mudas de *Euterpe precatoria* submetidas à aplicação de  $60 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  de N e  $86,66 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  de P.

Os teores foliares de enxofre (S) em ambas as adubações seguiram um modelo de regressão linear crescente, com aumento proporcional à elevação da concentração de biocarvão de casca de cupuaçu (Figura 23C). O fertilizante de liberação lenta (FLL) apresentou desempenho superior a adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes, provavelmente devido à sua capacidade de liberar o nutriente de forma gradual. O substrato com 50% de biocarvão exibiu um teor elevado de  $399,6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  de enxofre (Tabela 3), evidenciando maior disponibilidade do nutriente para as plantas, e ainda associado às adubações suplementares.

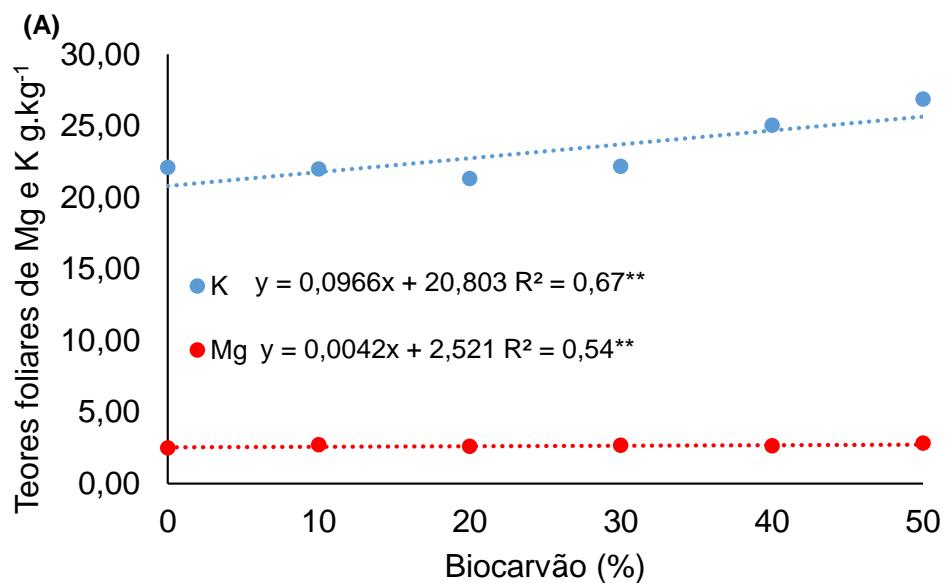
O teor foliar de manganês (Mn) apresentou ajuste a um modelo de regressão quadrática para ambas as adubações (Figura 23D). Na adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes, observou-se que o substrato sem biocarvão apresentou maior teor de  $465,29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  de Mn. Em contraste, o fertilizante de liberação lenta (FLL) atingiu seu ponto máximo com 22,18% de biocarvão, registrando um teor de  $599,24 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  de Mn. Em comparação, Araújo *et al.* (2024) relataram um

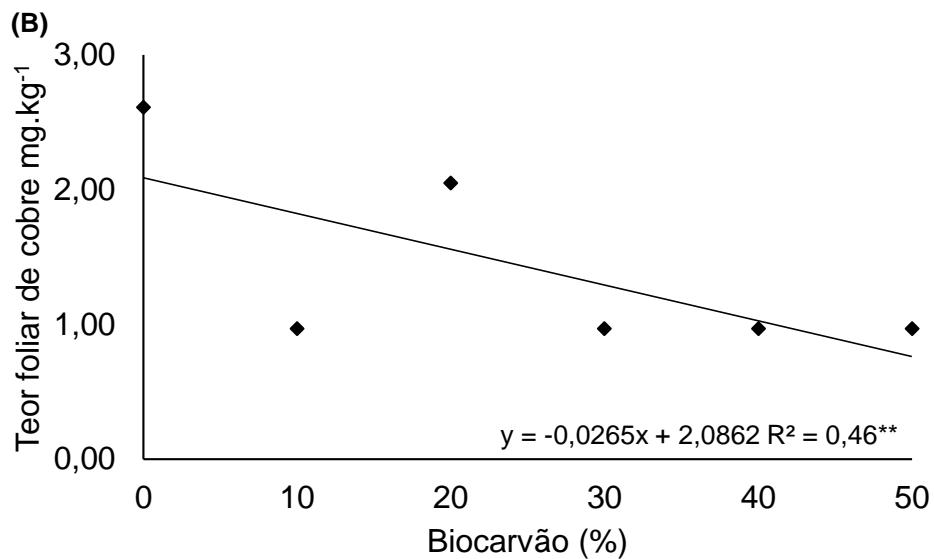
teor de Mn de 190,92 mg.kg<sup>-1</sup> em *Euterpe precatoria*, valor inferior ao obtido nas duas condições de adubação analisadas neste estudo.

Os teores de zinco (Zn) na adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes ajustaram-se a um modelo de regressão quadrática, sem biocarvão, resultando em um teor de 22,17 mg.kg<sup>-1</sup>. Em contraste, o fertilizante de liberação lenta (FLL) não demonstrou efeito significativo sobre os teores de zinco. Comparado ao estudo de Araújo *et al.* (2018), que obteve 21,4 mg.kg<sup>-1</sup> de teor de zinco em *Euterpe oleracea* com FLL, o resultado inferior pode ser explicado por diferenças nas formulações dos fertilizantes e nas espécies analisadas.

Os teores foliares de magnésio e potássio apresentaram ajuste a um modelo de regressão linear crescente (Figura 24A), enquanto o teor de cobre seguiu um modelo linear decrescente (Figura 24B). Esses resultados indicam que o aumento na proporção de biocarvão contribuiu para a elevação dos teores de magnésio e potássio, mas reduziu a concentração de cobre nas folhas de *Euterpe precatoria*.

Figura 24 - Teores foliares de magnésio (Mg) e Potássio (K) (A) e Cobre (Cu) (B) de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem submetidas diferentes concentrações de biocarvão de casca de cupuaçu. Rio Branco, AC, 2025.



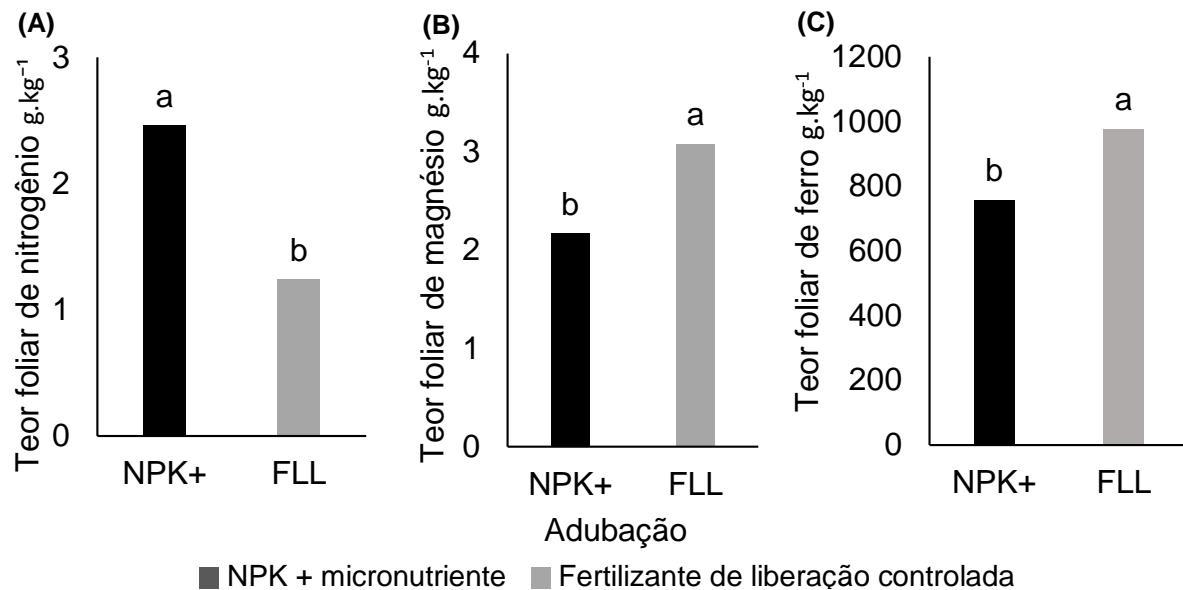


Araújo et al. (2024) relataram um teor foliar de potássio (K) de 17,03 g.kg<sup>-1</sup> em *Euterpe precatoria*, valor inferior ao obtido no presente estudo, que atingiu 26,85 g.kg<sup>-1</sup> com a adição de 50% de biocarvão. Esse incremento pode ser atribuído à elevada concentração de K no biocarvão (375 g.kg<sup>-1</sup>) (Tabela 3), que favoreceu a disponibilidade e absorção do nutriente pelas plantas. Zampier (2023) também constatou elevação nos teores foliares de potássio (16,11 g.kg<sup>-1</sup>) em erva-mate ao utilizar biocarvão de pinus e eucalipto, em adição de 50%.

Além disso, o biocarvão é conhecido por apresentar altos teores de potássio após o processo de pirólise (Chrysargyris *et al.*, 2020), contribuindo para o enriquecimento do solo e a liberação gradual do nutriente. Assim, destacado é o potencial de utilização do biocarvão como condicionador de substrato, proporcionando melhorias na fertilidade e no fornecimento de potássio essencial para o crescimento das plantas.

A adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes apresentou diferença estatística do fertilizante de liberação lenta (FLL) no aumento do teor foliar de nitrogênio (Figura 25A). Possivelmente, diferença verificada ocorreu devido à aplicação parcelada da adubação convencional.

Figura 25 - Teores foliares de macro e micronutriente de nitrogênio (A), magnésio (B) e ferro (C) de folhas de mudas de *Euterpe precatoria* Mart. aos 12 meses após a repicagem em função adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste F. Rio Branco, AC, 2025.



Os teores foliares de magnésio e ferro (Figura 25B/C) foram superiores com o uso do fertilizante de liberação lenta (FLL) em comparação ao NPK+ micronutrientes. A liberação gradual de nutrientes pelo FLL garantiu um suprimento contínuo de magnésio e ferro ao longo do tempo, favorecendo sua absorção eficiente pelas plantas. A disponibilidade sustentada é fundamental para processos fisiológicos, como a fotossíntese e o metabolismo celular, promovendo o crescimento equilibrado e saudável das mudas.

#### 4.3 ANÁLISE ECONÔMICA DE BIOCARVÃO DE CASCA DA AMÊNDOA DA CASTANHA-DO-BRASIL E CASCA DE CUPUAÇU

A adubação convencional com aplicações periódicas de NPK + micronutrientes aumenta a mão de obra com as operações e apesar do NPK ter menor custo para aquisição, eleva o custo das mudas em 0,98%, com custo médio de R\$4,12/muda, enquanto o FLL proporciona mudas com custo médio de R\$4,08/muda (Tabela 9). Essa pequena diferença deve levar em consideração a produção de mudas de qualidade proporcionada pela adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes.

Tabela 9. Custo médio de produção de mudas de açaizeiro solteiro (*E. precatoria*) em concentrações de biocarvões de casca de castanha-do-brasil e casca de cupuaçu sob adubação com fertilizante convencional NPK + micronutrientes e fertilizante de liberação lenta (FLL). Custo fixo médio (CFMe) custo variável médio (CVMe), e custo total médio (CTm). Rio Branco, AC, 2025.

Biocarvão (%)	Adubo	CFMe	CVMe	CTMe
0	NPK+	0,20	3,97	4,17
	FLL	0,20	3,93	4,13
10	NPK+	0,20	3,95	4,15
	FLL	0,20	3,91	4,11
20	NPK+	0,20	3,93	4,13
	FLL	0,20	3,89	4,09
30	NPK+	0,20	3,91	4,11
	FLL	0,20	3,87	4,07
40	NPK+	0,20	3,89	4,09
	FLL	0,20	3,85	4,05
50	NPK+	0,20	3,86	4,07
	FLL	0,20	3,83	4,03

Os fertilizantes convencionais fornecem nutrientes de forma imediata, mas apresentam maior risco de perdas por lixiviação e volatilização, exigindo reaplicações frequentes para manter a disponibilidade adequada dos nutrientes no substrato (Rosen *et al.*, 2014). A necessidade de fertilização pode elevar os custos operacionais ao longo do tempo e demandar um manejo mais rigoroso, principalmente em regiões onde a irrigação não é bem controlada (Silva *et al.*, 2015).

Os fertilizantes de liberação lenta oferecem maior eficiência ao liberar nutrientes gradualmente, atendendo às necessidades das plantas ao longo de seu ciclo de crescimento (Yamamoto *et al.*, 2016). Além de reduzir a necessidade de reaplicações, essa tecnologia minimiza perdas e optimiza o aproveitamento dos nutrientes, resultando em menor exigência de mão de obra e maior praticidade no manejo da adubação (Rossa *et al.*, 2013; Cunha *et al.*, 2021). Dessa forma, a escolha entre adubação convencional e fertilizantes de liberação controlada deve levar em consideração não apenas o custo inicial, mas também a qualidade das mudas, a eficiência no uso dos nutrientes e as condições ambientais.

## CONCLUSÕES

O uso de biocarvão como condicionador de substrato demonstra ser uma estratégia promissora para a produção de mudas de açaizeiro (*Euterpe precatoria* Mart.), contribuindo para um crescimento mais eficiente e sustentável das plantas.

O biocarvão produzido a partir da casca da amêndoia da castanha-do-brasil, na concentração de 20%, associado à adubação com NPK, favorece o crescimento das mudas de *Euterpe precatoria* Mart.

A adição de biocarvão de casca de cupuaçu ao substrato, na concentração de 50%, proporciona melhor crescimento das mudas de *Euterpe precatoria* Mart. quando associado à adubação NPK, enquanto com fertilizante de liberação lenta resulta em crescimento linear.

A adubação com fertilizante convencional NPK associado a micronutrientes proporciona maior crescimento das mudas de açaizeiro (*Euterpe precatoria* Mart.), embora o custo de produção seja 0,98% superior ao do fertilizante de liberação lenta.

## REFERÊNCIAS

- ALHO, C. J. R. Extrativismo na Amazônia: proteção das florestas mais benefícios sociais. **Ciência hoje**, v. 25, n. 150, p. 31-37, 1999.
- ALMEIDA, U. O. de; ANDRADE NETO, R. de C.; LUNZ, A. M. P.; NOGUEIRA, S. R.; COSTA, D. A. da; ARAÚJO, J. M. de. Environment and slow-release fertilizer in the production of *Euterpe precatoria* seedlings. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 4, p. 382-389, 2018.
- ALVES, T. N.; ECHER, M. de M.; COUTINHO, P. W. R.; MACEDO JÚNIOR, E. K.; KLOSOWSKI, É. S.; SACHSER, G. A. B.; BLACK, A. V. Efeitos dos consórcios com quiabeiro nas características físico-químicas da couve de folha sob manejo orgânico. **Brazilian Journal of Development**. v. 6, n.10, p. 79987-80001, 2020.
- AMORIM, S. A.; LIMA, A. M. N.; CAVALCANTE, I. H. L.; CUNHA, J. C.; MELO JÚNIOR, J. C. F.; SILVA, K. A.; RODRIGUES, J. C.; DIAS, D. N. Organic substrates and slow-realease fertilizing on nutrient accumulation and absorption efficiency of custard apple seedlings. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 16, n. 4, p. 1 - 8, 2021.
- ANDRADE NETO, R. de C.; LUNZ, A. M. P.; NOGUEIRA, S. R.; RIMÉRIO, F. P.; ARAÚJO, J. M. de; GUILHERME, J. P. M.; ALMEIDA, U. O. de; ARAÚJO, C. S. de; ARAÚJO, J. C. de; BUTZKE, A. G. **Recomendações técnicas para a produção de mudas de açaizeiro-solteiro**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2023. 25 p. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 207).
- ARAÚJO, C. S. de; LUNZ, A. M. P.; SANTOS, V. B. dos; ANDRADE NETO, R. de C.; NOGUEIRA, S. R.; SANTOS, R. S. dos. Use of agro-industry residues as substrate for the production of *Euterpe precatoria* seedlings. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, n. e58709, p. 1-9, 2020.
- ARAÚJO, C. S.; RUFINO, C. P. B.; BEZERRA, J. L. S.; ANDRADE NETO, R. C.; LUNZ, A. M. P. Crescimento de mudas de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) Submetidas a diferentes doses de fósforo. **S Am J Basic Edu, Technical and Technological**. v. 5, n. 1, p. 102-11, 2018.
- ARAÚJO, E. F.; AGUIAR, A. S.; ARAUCO, A. M. S.; GONÇALVES, E. O.; ALMEIDA, K. N. S. Crescimento e qualidade de mudas de paricá produzidas em substratos à base de resíduos orgânicos. **Nativa**, v. 5, n. 1, p. 16-23, 2017.
- ARAÚJO, J. C.; RUFINO, C. P. B.; ANDRADE NETO, R. DE C. LUZ, M. P. A.; MATTAR, P. L. E.; FRADE JUNIOR, F. E.; BARBOSA, J. T. DE L. Adubação nitrogenada e fosfatada na produção e no crescimento de mudas de *Euterpe precatoria* Mart. **Scientia Plena**, v. 20, n. 7, 2024.
- ARAÚJO, J. M. de; ANDRADE NETO, R. de C.; LUNZ, A. M. P.; ALMEIDA, U. O. de; ARAÚJO, C. S. de. Crescimento de mudas de açaizeiro (*Euterpe precatoria* Mart.) em diferentes condições de sombreamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 24., 2016, São Luis. Fruteiras nativas e sustentabilidade: **Anais...** São Luis: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2016. 4 p.
- VELINO, N. R.; SCHILLING, A. C.; DALMOLIN, Â. C.; SANTOS, M. S.; MIELKE, M. S. Alocação de biomassa e indicadores de crescimento para a avaliação da qualidade

de mudas de espécies florestais nativas. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 4, p. 1733-1750, 2021.

BARROS, D. L. de; REZENDE, F.; CAMPOS, A. T. Production of Eucalyptus urograndis plants cultivated with activated biochar. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences**. v. 14, n.2, p. 1-6, 2019.

BARROS, D. L.; DE REZENDE, F. A.; CAMPOS, A. T.; MAIA, C. D. F. Biochar of sawdust origin in passion fruit seedling production. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 5, p. 200-207, 2017.

BHERING, L. L. Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.17, p. 187-190, 2017.

BONAMIGO, T.; SCALON, S. de PQ; PEREIRA, Z. V. Substratos e níveis de luminosidade no crescimento inicial de mudas de Tocoyena formosa (Cham. & Schltl.) K. Schum. (RUBIACEAE). **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 501-511, 2016.

CAIXETA, M. C.; MOURA, L. B.; LEITE, C. C. A.; SIQUEIRA, C. H. M.; ALMEIRA, R. de S.; CAMPOS, A. T. Avaliação do diâmetro do coletor de mudas de cultivares de café arábica em função de diferentes substratos. XXXVI Congresso de Iniciação Científica da UFLA, 2023.

CALDEIRA, M. V. W.; PERONI, L.; GOMES, D. R.; DELARMELINA, W. M.; TRAZZI, P. A. Diferentes proporções de biossólido na composição de substratos para a produção de mudas de timbó (*Ateleia glazioviana* Baill). **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 93, p. 15-22, 2012.

CALZAVARA, B. B. G. **As possibilidades do açaizeiro no estuário amazônico.** Boletim Faculdades Ciências Agrarias, Belém, n. 5, p. 165-230, 1972.

CAMILO JÚNIOR, O. B.; SANDRI, D.; LISBOA, I. P. de J.; DIAS, L. V. S.; CLARA, J. M. P. Qualidade das mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong sob diferentes dosagens de biochar e hidrogel. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v.16, n.6, p.4862-4880, 2023.

CARVALHO, C. A. de; FERREIRA, R. L. F.; SOUZA, F. C. de. Vigor de sementes e cultivo de mudas de rambuteira. **Scientia naturalis**, v. 5, n. 2, p. 826-840, 2023.

CARVALHO, M.T.M.; MAIA, A.H.N.; MADARI, B.E.; BASTIAANS, L.; VAN OORT, P.A.J.; HEINEMANN, A.B.; SILVA, M.A.S.; PETTER, F.A.; MARIMON J.R.B.H.; MEINKE, H. Biochar increases plant-available water in a sandy loam soil under an aerobic rice crop system. **Solid Earth**, v. 5, p. 939-952, 2014.

CARVALHO, P. H. S.; CHAVES, V. P.; ARAÚJO, C. S.; ANDRADE NETO, R. C.; LUNZ, A. M. P; NOGUEIRA, R. S. Efeitos do tipo de substrato e doses de adubo de liberação lenta na produção de mudas de açaizeiro-solteiro. *In:* Seminário da Embrapa Acre de Iniciação Científica e Pós-Graduação, 3., 2020. **Anais...** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, p. 21-25, 2021.

CASTRO, A.; BOVI, M. L. A. Assaí. *In.* Selected species and atrstegies to enhance income gereration from amazonian forests, FAO Forestry Paper. 1993.

CAVALCANTE, Í. H. L.; ROCHA, L. F.; SILVA JUNIOR, G. B.; FALCÃO NETO, R.; SILVA, R. R. S. Seedling production of gurguéia nut (*Dypterix lacunifera* Ducke) I: seed

germination and suitable substrates for seedlings. **International Journal of Plant Production**, v. 5, p. 319-322, 2011.

CENTURIÃO, N. C.; USHIWATA, S. Y.; VILAR, C. C.; MARIMON JÚNIOR, B. H. Efeitos de biochars (carvões) provenientes de diferentes materiais na fertilidade de dois solos do Cerrado. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 19, p. 70-80, 2021.

CHAVES JUNIOR, E. A.; PAIVA, S. S. de; LUZ, P. B da. Volume de recipientes e formulações de substrato na produção de mudas de *Adenanthera pavonina* L. **Scientia Plena**, v. 18, n. 110201, p. 1-22, 2022.

CHEN, J.; FAN, X.; ZHANG, L.; CHEN, X.; SUN, R. C.; SUN, S. Research progress in lignin-based slow/controlled release fertilizer. **Chemistry–Sustainability–Energy–Materials**, v. 13, n. 17, p. 4356 – 4366, 2020.

CHINTALA, R.; MOLLINEDO, J.; SCHUMACHER, T. E.; MALO, D. D.; JULSON, J. L. Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. **Archives of Agronomy and Soil Science**. v. 60, n. 3, p. 393-404, 2013.

CHRYSARGYRIS, A.; PRASAD, M., KAVANAGH, A.; TZORTZAKIS, N. Biochar Type, Ratio, and Nutrient Levels in Growing Media Affects Seedling Production and Plant Performance. **Agronomy**, v. 10, n. 1421, p. 1-21, 2020.

COSTA, D. A. da. Crescimento do açaizeiro solteiro e desempenho agronômico da bananeira comprida consorciados em diferentes espaçamentos. 2019. 105f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Rio Branco, 2019.

COSTA, E.; DIAS, J. G.; LOPES, K. G.; BINOTTI, F. F. S.; CARDOSO, E. D. Telas de sombreamento e substratos na produção de mudas de *Dipteryx alata* Vog. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 416-425, 2015.

COSTA, M. da V. **Biocarvões de resíduos de caroço de açaí e castanha-do-brasil como condicionantes de solo: características químicas**. 2021, 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Agronomia, Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2021.

CRISPIM, J. F.; LIMA, J. S. S.; SILVA, J. K. B.; SILVA, A. G. C.; FERNANDES, G. K. F.; BENTO, J. E. A. Aspecto nutricional do biocarvão na produção de mudas de rúcula em condições semiáridas. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 3, p 12-17, 2020.

CUNHA, F. L.; NIERI, E. M.; SANTOS, J. A. dos; ALMEIDA, R. S. de; MELO, L. A. de; VENTURIN, N. Uso dos adubos de liberação lenta no setor florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 41, e201902063, p. 1-11, 2021.

DAMACENO, J. B. D. **biocarvão e efeito residual de adubação fosfatada em mudas de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em latosolo da Amazônia**. 2017. 86f. Dissertação (Mestrado em agricultura no trópico úmido), Programa de Pós-graduação em Agricultura, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2017.

DIAS JÚNIOR, L.; CASTRO, W. C. de; BONATTO, E. C. S.; FALÇÃO, N. P. de S. Caracterização de biocarvões produzidos com resíduos de açaí e castanha do-Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 27429-29442, 2022.

- DIAS, D. R.; FARIA, I. K. B.; VALE, B. S. C.; SANTANA, J. A. V.; SALLES JUNIOR, J. R. Produção de mudas de maracujazeiro amarelo em diferentes níveis de irrigação e formulações de substrato. **Nativa**, v. 10, n. 1, p.102-108, 2022.
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.
- DUTRA, T. R.; MASSAD, M. D.; MATOS, P. S.; SARMENTO, M. F. Q.; OLIVEIRA, J. C. Crescimento inicial e qualidade de mudas de caviúna-do-Cerrado e caroba-do-campo em resposta à adubação nitrogenada. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 11, n. 1, p. 52-61, 2015.
- ELOY, E., CARON, B.O, SCHMIDT, D., BEHLING, A., SCHWERS, L., ELLI, E.F. 2013. Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* parâmetros morfológicos. **Floresta**, v. 43, n. 3, p. 373-384, 2013.
- FERNANDES, J. A.; SANTOS, F. M. Práticas de irrigação em viveiros: fundamentos e aplicações. São Paulo: Editora Agro, 2017.
- FERREIRA, E. J. L. Açaí (solitário) *Euterpe precatoria* Mart. In: SHANLEY, P; CYMERYS, M; SERRA, M; MEDINA, G. (Org.). Productos Forestales no Madereros 20: Frutales y plantas útiles en la vida amazónica. 1 ed. Rome, Italy: FAO/CIFOR/Pueblos y Plantas Internacional, v. 20, p. 169-174, 2012.
- FERREIRA, M. A. A.; VIEIRA, C. R.; ARAUJO, M. M. V. Doses de Adubo Nitrogenado nas Características Morfofisiológicas de Mudas de Mogno Brasileiro. **Ensaio e Ciências**, v. 27, n. 1, p. 1-8, 2023.
- GALERIANI, T. M. **Suplementação foliar de cálcio e boro melhora a eficiência fotossintética e aumenta produtividade da soja**. 2021. Dissertação (Mestrado em agricultura), Curso de Pós-graduação em Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2021.
- GAO, Y.; FANF, Z.; ZWIWTEN, L. V.; BOLAN, N.; DONG, N.; QUIN, B. F.; MENG, J.; LI, F.; WU, F.; WANG, H.; CHEN, W. Uma revisão crítica de fertilizantes nitrogenados à base de biochar e seus efeitos na produção agrícola e no meio ambiente. **Springer nature**, v. 4, n. 36, p. 1-19, 2022.
- GHOSH, S.; OW, L.F.; WILSON, B. Influence of biochar and compost on soil properties and tree growth in a tropical urban environment. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v.12, p.1303-1310, 2015.
- GLASER, B.; LEHR, V. I. Efeitos do biochar na disponibilidade de fósforo em solos agrícolas: uma meta-análise. **Relatórios científicos**. v. 9, n. 1, p. 1-9, 2019.
- GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCI, S. L. R. Parâmetros morfológico na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 515-523, 2002
- GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. Viveiros florestais: propagação sexuada. Ed. UFV, Viçosa-MG, 2012.
- GONZAGA, M. I. S; SOUZA, D. C. F.; ALMEIDA, A. Q.; MACKOWIAK, C.; LIMA, I. S.; SANTOS, J. C J.; ANDRADE, R. S. Nitrogen and phosphorus uptake efficiency in Indian mustard cultivated during three growth cycles in a copper contaminated soil treated with biochar. **Ciência Rural**, v.49, n.1, p.1-8. 2019.

- GROSSNICKLE, S. C.; MACDONALD, J. E. Why seedlings grow: influence of plant attributes. **New Forests**, 49, n. 1, p. 1-34, 2018.
- HENDERSON, A. **The Palms of the Amazon**. Oxford University Press, New York. 1995.
- HUANG, L.; GU, M. Effects of Biochar on Container Substrate Properties and Growth of Plants. **Review Horticulturae**, v.5, n. 14, 2019.
- HUNT, G. A. Effect of styroblock design and cooper treatment on morphology of conifer seedlings. In: ROSE, R.; CAMPBELL, S. J.; LANDIS, T. D. Target seedling symposium, meeting of the western forest nursery associations, general technical report RM-200. 1990, Roseburg: **Proceedings...** Collins: United States Department of Agriculture, Forest Service, 1990. p. 218-222
- IBGE. **Produção da extração vegetal**. Disponível em: Acesso em: 18 out. 2023.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Estações meteorológicas para o estado do Acre. 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>. Acesso em 06 set. 2024.
- JORGE, M. H. A.; MELO, R. A. de C.; RESENDE, F. V.; COSTA, E.; SILVA, J. da; GUEDES, I. M. R. **substratos utilizados na produção de mudas de hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Hortalícias, 2020. 30 p. (Embrapa Hortalícias, Documentos 180).
- KALAJI, H. M.; DABROWSKI, P.; CETNER, M. D.; SAMBORSKA, I. A.; LUKASIK, I.; BRESTIC, M.; ZIVCAK, M.; TOMASZ, H.; MOJSKI, J.; KOCIEL, H.; PANCHAL, B. M. A comparison between different chlorophyll content meters under nutrient deficiency conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 40, p. 1024-1034, 2017.
- KAMIMURA, L. M. T.; GODOY, L. J. G. de; BÔAS, R. L. V. Fertirrigação e fertilizantes de liberação gradual para a Implantação de gramado esportivo. **Irriga**, v. 25, n. 1, p. 184-201, 2020.
- KAUDAL, B. B., CHEN, D. MADHAVAN, D. B., DOWNIE, A., WEATHERLEY, A. An examination of physical and chemical properties of urban biochar for use as growing media substrate. **Biomass and Bioenergy**, v. 84, p. 49-58. 2016.
- KOOKANA, R. S.; SARMAH, A. K.; VAN ZWIETEN, L.; KRULL, E.; SINGH, B. Biochar application to soil: agronomic and environment benefits and unintended consequences. **Advances in Agronomy**, n. 112, p. 103-143, 2011.
- LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for Environmental Management. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (org.). **Biochar for Environmental Management: science and technology**. London: Earthscan, p. 1-09, 2012.
- LEITMAN, P.; SOARES, K.; HENDERSON, A.; NOBLICK, L.; MARTINS, R. C. 2015 Arecaceae in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: Acesso em: 21 dez. 2023.
- LIMA, G. de A.; ROCHA, B. D. da; ROCHA, J. S. da; ALIVES, F. R. N.; OLIVEIRA, D. V. de; LOBATO, L. F. de L.; FIGUEIRA, E. P. de O.; BARBOSA, K. S. S. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de cumaru. **Agroecossistemas**, v. 10, n. 2, p. 136-146, 2018.

- LIMA, J. D.; SILVA, B. M. S.; MORAES, W. S.; DANTAS, V. A. V.; ALMEIDA, C. C. Efeitos da luminosidade no crescimento de mudas de *Caesalpinia ferrea* Mart. Ex Tul. (Leguminosae, Caesalpinoideae). **Acta Amazonica**, v. 38, n. 1, p. 5-10, 2008.
- LIMA, S. L.; MARIMON JUNIOR, B. H.; PETTER, F. A.; TAMIOZZO, S.; BUCK; G. B.; MARIMON, B. S. Biochar as substitute for organic matter in the composition of substrates for seedlings. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 333- 341, 2013.
- LIMA, S. L.; TAMIOZZO, S.; PALOMINO, E. C.; PETTER, F. A.; MARIMON-JUNIOR, B.H. Interactions of biochar and organic compound for seedlings production of *Magonia pubescens* A. St. Hil. **Revista Árvore**, v. 39, p. 655-661, 2015.
- LIMA, S. L; MARIMON JUNIOR, B. H.; SANTOS, K. da S. M.; REIS, S. M.; PETTER, F. A.; VILAR, C. C.; MARIMON, B. S. Biochar no manejo de nitrogênio e fósforo para a produção de mudas de angico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 2, p. 120-131, 2016.
- LORENZI, H.; NOBLICK, L.; KAHN, F.; FERREIRA, E. J. L. **Flora brasileira - Arecaceae (Palmeiras)**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2010. 384 p.
- LUSTOSA FILHO, J. F.; NOBREGA, J. C. A.; NOBREGA, R. S. A.; DIAS, B. O.; AMARAL, F. H. C.; AMORIM, S. P. do N. Influence of organic substrates on growth and nutrient contents of jatobá (*Hymenaea stigonocarpa*). **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n.2 6, p. 2544-2552, 2015.
- MAIA JÚNIOR, S. O.; ANDRADE, J. R.; FERREIRA, R. S.; ARAÚJO, D. L.; GUERRA, H. O. C.; SILVA, F. G. Teores de pigmentos, fluorescência da clorofila a e índice SPAD em cultivares de girassol sob regimes hídricos. **Revista Agrarian**, v. 10, n.3 6, p. 105-112, 2017.
- MARTINOT, J. F.; PEREIRA, H. D. S.; SILVA, S. C. P. D. Coletar ou Cultivar: as escolhas dos produtores de açaí-da-mata (*Euterpe precatoria*) do Amazonas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, n. 4, p. 751-766, 2017.
- MARTINS, L. F.; COSTA, M. N. Nutrição e adubação de mudas em viveiros florestais. Curitiba: Editora Rural, 2015.
- MIKULA, K.; IZYDORCZYK, G.; SKRZYPczAK, D.; MIRONIUK, M.; MOUSTAKAS, K.; WITEKKROWIAK, A.; CHOJNACKA, K. Controlled release micronutrient fertilizers for precision agriculture – A review. **Science of the Total Environment**, v. 712, p. 1-9, 2020.
- MOLINE, E.F.V.; LAVRES JÚNIOR, J.; SILVA, D.P.; CLEMENT, C.R.; FALCÃO, N.P.S. Efeito da aplicação de biocarvão, cama de frango e formulado NPK no estado nutricional de laranjeira em terra mulata. **Bioscience Journal**, v. 31, p. 362-369, 2015.
- MORAES NETO, S. PI.; GONÇALVES, J. L. de M.; RODRIGUES, C. J.; GERES, W. L. de A.; DUCATTI, F.; AGUIRRE JR, J. H. de A. Produção de mudas de espécies arbóreas nativas com combinações de adubos de liberação controlada e prontamente solúveis. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 779-789, 2003.
- MORALES, M. M.; COMERFORD, N.; GUERRINI, I. A.; FALCÃO, N. P. S.; REEVES, J.B. Sorption and desorption of phosphate on biochar and biochar-soil mixtures. **Soil Use and Management**, v. 29, n. 3, p. 306–314, 2013.

NOGUEIRA, B. B.; IGLESIAS, L.; MESQUITA, J. V.; NAKATANI, M. C.; PUTTI, F. F. Índice SPAD em plantas de tomateiro cultivado em fibra de coco e submetido a pulsos de fertirrigação. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 12, n.1, p.1-6, 2018.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. 2 ed. Rio de Janeiro, Interciência. 2013, 199p.

NOGUEIRA, S. R.; SILVA, I. M. da; MACEDO, P. E. F. de; LUNZ, A. M. P.; ANDRADE NETO, R. de C. **Controle de Antracnose em açaí-solteiro (*Euterpe precatoria*) no Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2017. 6 p. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 197).

NOVAK, J.M.; BUSSCHER, W.J.; LAIRD, D.L.; AHMEDNA, M.; WATTS, D.W.; NIANDOU, M.A.S. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. **Soil Science**, v. 174, p. 105-112, 2009.

OLIVEIRA, M. do S. P. de; OLIVEIRA, N. P. de; DOMINGUES, A. F. N.; MATTIETTO, R. de A.; TEIXEIRA, D. H. L.; FARIA NETO, J. T. de. *Euterpe oleracea* e *E. precatoria*, açaí. In: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; VIEIRA, I. C. G. (ed.). Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Norte. Brasília, DF: MMA, 2022. p. 1199-1214.

OLIVEIRA, M. do S. P. de; RIOS, S. de A. Potencial econômico de algumas palmeiras nativas da Amazônia. In: Encontro Amazônico De Agrárias, 6., 2014, Belém, **Anais...** Belém: Ufra, 2014.

OTONI, I. S.; SOUSA, A. C. G. Crescimento inicial do milho com diferentes fontes de fósforo no sulco de plantio. **Agronomia**, v. 28, n. 130. 2024.

PETTER, F. A. **Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agronômicos e ambientais do seu uso em solos de cerrado**. 2010. 130 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal), Curso de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; SILVA, M. A. S.; CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO, M. T.; MARIMON J. R. B. H.; PACHECO, L. P. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.5, p.699-706, 2012.

PETTER, FABIANO ANDRÉ.; MARIMON JUNIOR, B. H.; ANDRADE, F. R.; SCHLOSSER, T. R.; GONÇALVES, L. G.; MARIMON, B. S. Biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de alface. **Agrarian**, v. 5, n. 17, p. 243-250, 2012.

PINTO, F. R. **Análise produtiva de sistemas agroextrativistas de açaí-da-mata (*Euterpe precatoria* Mart.) na Amazônia Central**. 2018, 152 f. (Doutorado em Agronomia Tropical) – Programa de Pós-graduação em Agronomia Tropical, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.

POLIDORO, J.C. Fertilizante de eficiência aumentada: Estado da Arte e Perspectiva Futuras. FERTBIO 2016. **Rede FertBio**, 2016

REGHIN, M. Y.; OTTO, R. F.; VINNE, J. van der. Efeito da densidade de mudas por célula e do volume da célula na produção de mudas e cultivo da rúcula. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 2, p. 287-295, 2004.

REIS, A. M. F.; CORDOVIL, C. M. S.; MATOS, E. J. S.; GOUVEA, C. F.; BARREIROS, R. M.; VANCONCELOS, M. C.; SILVA, G. C. Efeito do uso do biocarvão de casca de coco e bagaço de laranja no desenvolvimento de mudas de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson. In: PACHECO, C. S. G. R.; RIBEIRO, G. F.; CALDEIRA, M. V. W.; MARTINS, W. F. (Org), Biomassa: recursos, aplicações e tecnologias em pesquisa. Guaruja, SP: Editora Científica Digital Ltd. 2022.

REN, X.; ZHANG, P.; ZHAO, L.; SUN, H. Sorption and degradation of carbaryl in soils amended with biochars: influence of biochar type and content. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 3, p. 2724–2734, 2016.

REZENDE, F. A.; SANTOS, V. A. H. F. dos; MAIA, C. M. B. de F.; MORALES, M. M. Biochar in substrate composition for production of teak seedlings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, 2016.

ROCHA, E. Potencial ecológico para o manejo de frutos de açaizeiro (*Euterpe precatoria* Mart.) em áreas extrativistas no Acre, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 34, n. 2, p. 237-250, 2004.

RONDON, M. A.; RAMÍREZ, J.; HURTADO, M.; LEHMANN, J. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. **Biology Fertility Soils**, v. 43, p. 699-708, 2007.

ROSEN, C. J.; KELLING, K. A.; STARK, J. C.; PORTER, G. A. Optimizing Phosphorus Fertilizer Management in Potato Production. **American Journal of Potato Research**, v. 91, p. 145 - 160, 2014.

ROSSA, Ü. B.; ANGELO, A. C.; NOGUEIRA, A. C.; WESTPHALEN, D. J.; BASSACO, M. V. M.; MILANI, J. E. F.; BIANCHIN, J. E. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Schinus terebinthifolius* e *Sebastiania commersoniana*. **Floresta**, v.43, n.1, p. 93-104, 2013.

RUFINO, C. P. B.; NOGUEIRA, S. R.; ARAÚJO, C. S. de; ROSSI, A. J. D.; ANDRADE NETO, R. de C.; LUNZ, A. M. P.; MACEDO, P. E. F. de. chemical control of *colletotrichum gloeosporioides* on seedlings of single assai palm. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 10, n. 2, p. 1-8, 2023.

SANTOS, F. P. dos.; LIMA, S. F.; SILVA, A. A. P. da; CONTARDI, L. M.; VENDRUSCOLO, E. P. Biochar and biostimulant in forming *Schinus terebinthifolius* seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v 26, n. 7, p. 520-526, 2022.

SANTOS, J. S. dos; LIMA, V. L. A. de; NASCIMENTO, M. T. C. C. do; SILVA, T. T. S.; LOPES, R. M. B. P. Produção de matéria seca de plantas de algodoeiro submetidas à adubação orgânica. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 3., 2016, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: CONFEA, 2016.

SCOTT, A.J., KNOTT, M.A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v.30, n.3, p.507-512, 1974.

SHAFAGHAT, H.; REZAEI, P.; DAUD, W. M. A. W. Catalytic hydrodeoxygenation of simulated phenolic bio-oil to cycloalkanes and aromatic hydrocarbons over bifunctional metal/acid catalysts of Ni/HBeta, Fe/HBeta and NiFe/HBeta. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 35, p. 268-276. 2016.

- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete examples). **Biometrika**, v. 52, n. 3-4, p. 591-611, 1965.
- SHEN, Y.; UMAÑA, M. N.; LI, W.; FANG, M.; CHEN, Y.; LU, H.; YU, S. Coordination of leaf, stem and root traits in determining seedling mortality in a subtropical forest. **Forest Ecology and Management**, v. 446, p. 285-292, 2019
- SHIBAEVA, T. G.; MAMAEV, A. V.; SHERUDILO, E. G. Evaluation of a SPAD-502 Plus Chlorophyll Meter to Estimate Chlorophyll Content in Leaves with Intervenital Chlorosis. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 67, p. 690–696, 2020.
- SILVA, J. de J. da; SANTOS, A. R. dos; SOUSA, G. S. de; ANJOS, G. L. dos; FERREIRA, P. M. Ambientes de luz e substratos orgânicos na produção e diagnose nutricional de *Salvia officinalis* L. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 15447-15465, 2020.
- SILVA, L. F. V.; DE MELO, E. I.; GONÇALVES, P. A. S. Biochar de serragem de eucalipto como condicionador de substratos para produção de mudas de alface. **Agrienvironmental sciences**, v. 5, p. e019005, 2019.
- SILVA, M. I.; MACKOWIAK, C.; MINOGUE, P.; REIS, A. F.; MOLINE, E. F. V. Potential impacts of using sewage sludge biochar on the growth of plant forest seedlings. **Ciência Rural**, v. 47, n. 1, p. 1-5, 2017.
- SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; SILVA, A. A.; PRADA NETO, I.; PAULA, R. C. Mortalidade, crescimento e solução do solo em eucalipto com aplicação de fertilizante de liberação lenta. **Cerne**, v. 21, p. 476-481, 2015.
- SILVA, S. E. L. da; SOUZA, A. das G. C. de; BERNI, R. F. **O cultivo do açaizeiro**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2005. 6 p. (Comunicado técnico, 29).
- SIMÕES, A. C.; ALVES, G. E. B.; FERREIRA, R. L. F.; ARAÚJO NETO, S. E. de. Qualidade da muda e produtividade de alface orgânica com condicionadores de substrato. **Horticultura Brasileira**, v. 33, p. 521-526, 2015.
- SOUZA, A. das G. C. de; SOUSA, N. R.; SILVA, S. E. L. da; NUNES, C. D. M.; CANTO, A. do C.; CRUZ, L. A. de A. **Fruteiras da Amazônia**. Coleção Biblioteca Botânica Brasileira, v. 1, Manaus: Embrapa-Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental, 1996, p. 16-18.
- SOUZA, C. de O.; PASSOS, R. R.; GONÇALVES, E. de O. Biocarvão como condicionar de substratos para a produção de mudas de espécies florestais nativas. **Research Society and Development**, v. 12, n. 9, e2712943156, 2023.
- STEINER, C.; TEIXEIRA, W.G.; LEHMANN, J.; NEHLS, T.; MACÊDO, J.L.V. de; BLUM, W.E.H.; ZECH, W. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on cropproduction and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. **Plant and Soil**, v. 291, p. 275-290, 2007.
- STUEPP, C. A.; KRATZ, D.; GABIRA, M. M.; WENDLING, I. Survival and initial growth in the field of eucalyptus seedlings produced in different substrates. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v.55, n. 01587, 2020.
- SUN, Y., WANG, M., MUR, L. A. J., SHEN, Q., & GUO, S. Unravelling the roles of nitrogen nutrition in plant disease defences. **International journal of molecular sciences**, v. 21, n. 572, p.1-20, 2020.

- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.
- TAMMEORG, P.; SIMOJOKI, A.; MÄKELÄ, P.; STODDARD, F. L.; ALAKUKKU, L. HELENIUS. Short-term effects of biochar on soil properties and wheat yield formation with meat bone meal and inorganic fertiliser on a boreal loamy sand. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 191, p. 108-116, 2014.
- TEIXEIRA, P. C.; RODRIGUES, H. S.; LIMA, W. A. A.; ROCHA, R. N. C.; CUNHA, R. N. V.; LOPES, R. Influência da disposição dos tubetes e da aplicação de fertilizantes de liberação lenta, durante o pré-viveiro, no crescimento de mudas de dendzeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.). **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, p. 157-168, 2009.
- TEDESCO, M. J. Análises de plantas e resíduos orgânicos. In: TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. rev. ampl. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos, 1995. cap. 3, p. 33-52 (UFRGS. Boletim técnico, 5).
- TERRA, S. B.; FERREIRA, A. A. F.; PEIL, R. M. N.; STUMPF, E. R. T.; BECKMANN CAVALCANTE, M. Z.; CAVALCANTE, I. H. L. Alternative substrates for growth and production of Potted chrysanthemum (cv. Funny). **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 465-471, 2011.
- TORRES, L. M.; SOARES, L. F. A.; AZEVEDO, S. D.; ARAÚJO, S. R.; SOUZA, R. A. S. Biocarvão de caroço de açaí no desenvolvimento de mudas de paricá [*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (*Huber ex Ducke*) Barneby]. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 1, p. 615-624, 2021.
- TRAZZI, P. A.; LEAHY, J. J.; HAYES, H.; KWAPINSKI, W. Adsorption and desorption of phosphate on biochars. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 4, n. 1, p. 37-46, 2016.
- TRENKEL, M. E. Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: na option for enhancing nutrient efficiency in agriculture. 2<sup>a</sup> ed. International Fertilizer Industry Association, p. 163, 2010.
- VEJAN, P.; KHADIRAN, T.; ABDULLAH, R.; AHMAD, N. Controlled release fertilizer: A review on developments, applications and potential in agriculture. **Journal of Controlled Release**, 339, p. 321 - 334, 2021.
- VERDONCK, O.; DE VLEESCHAUWER, D.; DE BOODT, M. The influence of the substrate to plant growth. **Acta Horticulturae**, v. 126, n. 30, p. 251-258, 1981.
- VIDIGAL, S. M.; PUIATTI, M.; LOPES, I. P. C.; SEDIYAMA, M. A. N. Nitrogen content, SPAD index and production of single head broccoli. **Horticultura Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 52-57, 2021.
- VIDIGAL, S.M.; LOPES, I.P.C.; PUIATTI, M.; RIBEIRO, M.R.F.; SEDIYAMA, M.A.N. SPAD index in the diagnosis of nitrogen status in cauliflower as a function of nitrogen fertilization. **Científica**, v. 46, n. 3, p. 307-314, 2018.
- WADT, L. H. de O.; RIGAMONTE-AZEVEDO, O. C.; FERREIRA, E. J. L.; CARTAXO, C. B. da C. **Manejo do açaí solteiro (*Euterpe precatoria* Mart.) para produção de frutos**. Rio Branco, AC: Secretaria de Extrativismo e Produção Familiar, 2004. 34 p. (Documento técnico, 2).

- WANG, J.; WANG, S. Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 227, p. 1002-1022, 2019.
- WENNECK, G. S.; VILLA, V. V; SAATH, R.; REZENDE, R.; LOPES P. G.; CONTI MONDANEZ, B. M. Pigmentos foliares na cultura de ervilha: relação entre índice SPAD e teor de clorofila. **Revista Brasileira De Engenharia De Biossistemas**, v. 15, n. 3, 391-400, 2021.
- YAMAMOTO, C. F.; PEREIRA, I. E.; MATTOSO, L. H. C.; MATSUNAKA, T.; RIBEIRO, C. Slow release fertilizers based on urea/urea– Formaldehyde polymer nanocomposites. **Chemical Engineering Journal**, v. 287, p. 390-397, 2016.
- YUYAMA, L. K. O.; AGUIAR, J. P. L.; FILHO, D. F.; YUYAMA, K.; VAREJÃO, M. J.; FÁVARO, D. I. T.; VASCONCELLOS, M. B. A.; PIMENTEL, S. A.; CARUSO, M. S. F. Caracterização físico-química do suco de açaí de *Euterpe precatoria* Mart. oriundo de diferentes ecossistemas amazônicos. **Acta Amazônica**, v. 41, n. 4, p. 545-552, 2011.
- ZAMPIER, I. F. **Interação biochar e adubação na nutrição e crescimento inicial de erva mate (*Ilex paraguariensis* A.St. Hil)**. 2023. 80f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais, 2023.
- ZHAO, B.; O'CONNOR, D.; ZHANG, J.; PENG, T.; SHEN, Z.; TSANG, D. C. W.; HOU, D. Effect of pyrolysis temperature, heating rate, and residence time on rapeseed stem derived biochar. **Journal of Cleaner Production**, v. 174, p. 977-987, 2018.