

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
CAMPUS AGRÍCOLA PORTO GRANDE
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA

CASSIO FREITAS DE OLIVEIRA

**BIOCHAR DE RESÍDUOS DE AÇAÍ COMO CONDICIONADOR DO SOLO NA
PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS FORRAGEIRAS**

PORTO GRANDE

2023

CASSIO FREITAS DE OLIVEIRA

**BIOCHAR DE RESÍDUOS DE AÇAÍ COMO CONDICIONADOR DO SOLO NA
PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS FORRAGEIRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso Superior de Bacharelado em Engenharia Agrônômica, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá – IFAP, *Campus* Agrícola Porto Grande, como requisito avaliativo para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Nilvan Carvalho Melo.

PORTO GRANDE

2023

Biblioteca Institucional - IFAP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

O048b Oliveira, Cassio Freitas de
Biochar de resíduos de açaí como condicionador do solo na produção e nutrição
de plantas forrageiras / Cassio Freitas de Oliveira - Porto Grande, 2023.
48 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Porto Grande, Cursode
Bacharelado em Engenharia Agrônômica, 2023.

Orientador: Nillvan Carvalho Melo.

I. crescimento. 2. capim. 3. biocarvão. I. Melo, Nillvan Carvalho, orient.
II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica do IFAP com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

CASSIO FREITAS DE OLIVEIRA

**BIOCHAR DE RESÍDUOS DE AÇAÍ COMO CONDICIONADOR DO SOLO NA
PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS FORRAGEIRAS**

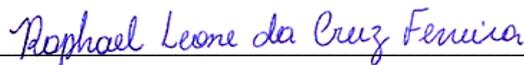
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso Superior de Bacharelado em Engenharia Agrônômica, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá – IFAP, *Campus* Agrícola Porto Grande, como requisito avaliativo para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Nilvan Carvalho Melo.

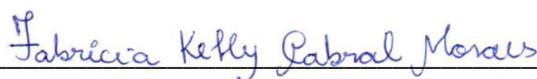
BANCA EXAMINADORA



Prof. Orientador, Dr. Nilvan Carvalho Melo – Presidente
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá – IFAP



Prof. MSc. Raphael Leone da Cruz Ferreira - Examinador Interno
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá – IFAP



Profa. Dra. Fabrícia Kelly Cabral Moraes - Examinadora Externa
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA



Profa. Dra. Luma Castro de Souza - Examinadora Externa
Universidade Federal do Maranhão - UFMA



Pesquisador, Dr. Nagib Jorge Melém Junior - Examinador Externo
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA/AP

Apresentado em: 11/12/2023.

Conceito/Nota: APROVADO/9,9

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pois sem ele nada poderia, e nos momentos mais difíceis e improváveis ele demonstra seu propósito para conosco.

Aos meus pais, que em nenhum momento mediram esforços e empenho para que eu tivesse uma boa educação, pautada em adquirir conhecimentos e tornar uma pessoa melhor.

A todos meus familiares que me apoiaram em todos os momentos.

A minha namorada, Karla Samylle de Queiroz Costa, por todo apoio, companheirismo, parceria, por todos os momentos que me ajudou, me deu forças e determinação para concluir meu trabalho.

Aos meus poucos amigos que contribuíram durante o curso, durante a execução e colaboração do experimento e trabalho de conclusão de curso.

Ao meu orientador prof. Dr. Nilvan Melo, que de forma especial ajudou em toda a jornada durante o curso, durante os trabalhos desenvolvidos. Agradecer pelo empenho, dedicação, paciência e contribuições de forma geral.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá - *Campus* Porto Grande, por ofertar o curso e a oportunidade.

A todo o corpo de Técnicos do IFAP, que contribuíram na execução da atividade de pesquisa e na solução de problemas.

“Só se pode alcançar um grande êxito quando
nos mantemos fiéis a nós mesmos”
(Friedrich Nietzsche).

“E conhecereis a verdade, e a verdade vos
libertará”
(João 8:32).

“Mas se você achar
Que eu tô derrotado
Saiba que ainda estão rolando os dados
Porque o tempo, o tempo não para

Dias sim, dias não
Eu vou sobrevivendo sem um arranhão
Da caridade de quem me detesta”
(Cazuza).

RESUMO

Alcançar uma produção viável e que seja menos poluente, leva a buscas contínuas de fontes de nutrientes, que sejam eficientes, econômicas e mais acessíveis aos produtores. O biochar é um material mineral rico em carbono e nutrientes, atuando como condicionador de solos nas melhorias das condições químicas, físicas e biológicas, apresenta melhorias na absorção e redução da perda de nutrientes em solos agrícolas. Neste estudo, objetivou-se avaliar o crescimento, a produção e a nutrição das forrageiras *Panicum maximum* (Cv. Mombaça) e *Pennisetum purpureum Schum* (Cv. BRS Kurumi), cultivadas em solo do cerrado submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí. O trabalho foi conduzido em casa de vegetação, no Instituto Federal do Amapá - *Campus* Agrícola Porto Grande. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), arranjado em esquema fatorial 5x2, com quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Os fatores foram constituídos do tratamento controle (sem aplicação de biochar) e quatro concentrações de biochar de caroço de açaí (0; 0,125; 0,25; 0,375 e 0,5%) e duas espécies forrageiras, *P. maximum* cv. Mombaça e *P. purpureum Schum* cv. BRS Kurumi. O solo do experimento foi caracterizado como Latossolo Amarelo Distrófico textura franco-arenosa, em área de cerrado do município de Porto Grande/AP. A calagem foi realizada 30 dias antes da aplicação dos tratamentos e foram aplicadas as concentrações de biochar de caroço de açaí 15 dias antes do semeio, para reação e estabilização. Aos 90 dias de cultivo, foram determinados altura, diâmetro, número de perfilhos e de folhas, a matéria seca de folha, colmo e da raiz da planta, posterior os teores dos nutrientes no tecido vegetal. As concentrações de biochar aplicado ao solo apresentaram diferença ($p < 0,05$ e $p < 0,01$) para número de perfilhos, matéria seca de folhas e de colmo. Sendo a espécie *Panicum maximum*, superior para maioria das variáveis, com exceção para diâmetro de colmo e massa seca da raiz. Os macronutrientes presentes nas folhas foram diferentes ($p < 0,01$) para P, K e Mg já no colmo foi diferente ($p < 0,01$) para P, K e Ca. Os atributos químicos do solo foram superiores na concentração 0,375 *P. maximum* e 0,5 para *P. purpureum Schum*. As concentrações de biochar fornecem nutrientes para as plantas forrageiras no solo, e a espécie *P. maximum* (Cv. Mombaça) tem maior desenvolvimento em relação a *Pennisetum purpureum Schum* (Cv. BRS Kurumi).

Palavras-chave: crescimento; capim; biocarvão; fertilidade do solo.

ABSTRACT

Achieving viable and less polluting production leads to continuous searches for nutrient sources that are efficient, economical and more accessible to producers. Biochar is a mineral material rich in carbon and nutrients, acting as a soil conditioner to improve chemical, physical and biological conditions, improving absorption and reducing nutrient loss in agricultural soils. In this study, the objective was to evaluate the growth, production and nutrition of the forages *Panicum maximum* (Cv. Mombaça) and *Pennisetum purpureum* Schum (Cv. BRS Kurumi), grown in cerrado soil subjected to the application of açai seed biochar. The work was carried out in a greenhouse, at the Instituto Federal do Amapá - Campus Agrícola Porto Grande. The experimental design used was completely randomized (DIC), arranged in a 5x2 factorial scheme, with four replications, totaling 40 experimental units. The factors consisted of the control treatment (without biochar application) and four concentrations of açai seed biochar (0; 0.125; 0.25; 0.375 and 0.5%) and two forage species, *P. maximum* cv. Mombasa and *P. purpureum* Schum cv. BRS Kurumi. The soil of the experiment was characterized as a Dystrophic Yellow Oxisol with a sandy loam texture, in a cerrado area in the municipality of Porto Grande/AP. Liming was carried out 30 days before applying the treatments and concentrations of açai seed biochar were applied 15 days before sowing, for reaction and stabilization. After 90 days of cultivation, the plant's height, diameter, number of tillers and leaves, leaf, stem and root dry matter were determined, followed by nutrient content in the plant tissue. The concentrations of biochar applied to the soil showed a difference ($p < 0.05$ and $p < 0.01$) for the number of tillers, leaf and stem dry matter. The species *P. maximum* was superior for most variables, with the exception of stem diameter and root dry mass. The macronutrients present in the leaves were different ($p < 0.01$) for P, K and Mg, while in the stem it was different ($p < 0.01$) for P, K and Ca. The chemical attributes of the soil were higher at concentration 0.375 *P. maximum* and 0.5 for *P. purpureum* Schum. Biochar concentrations provide nutrients for forage plants in the soil, and the species *P. maximum* (Cv. Mombaça) has greater development compared to *P. purpureum* Schum (Cv. BRS Kurumi).

Keywords: growth; grass; biochar; soil fertility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Casa de vegetação do IFAP, <i>Campus</i> Agrícola Porto Grande, Amapá, Brasil.....	19
Figura 2 - Triturador/picador com motor elétrico (a), estufa de circulação de ar forçado (b) e forno tipo mufla da marca spencer (c).....	20
Figura 3 - Peneiramento (a), pesagem (b) e separação das concentrações do biochar de caroço de açaí.....	20
Figura 4 - Coleta dos dados biométricos de altura (a) e do diâmetro do colmo (b) das plantas forrageiras cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.....	22
Figura 5 - Coleta da biomassa aérea (a) e radicular (b) das plantas forrageiras cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.....	23
Figura 6 - Procedimento de moagem (a) e identificação do material vegetal (b), em moinho tipo Wiley (c), para posterior determinação dos teores de nutrientes.	24
Figura 7 - Coleta de amostras de solo, por tratamento, para caracterização química e avaliação do efeito condicionador das doses de biochar de caroço de açaí.....	24
Figura 8 - Diâmetro do colmo das plantas forrageiras cultivadas, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.....	27
Figura 9 - Número de folhas das plantas forrageiras cultivadas, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.....	28
Figura 10 - Número de perfilhos das plantas forrageiras cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.	29
Figura 11 - Matéria seca das folhas (MSF) de planta forrageira cultivada em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.	30
Figura 12 - Matéria seca das folhas (MSF) das plantas forrageiras cultivadas, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.....	31
Figura 13 - Matéria seca do colmo (MSC) de planta forrageira cultivada em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.	32

Figura 14 - Matéria seca do colmo (MSC) das plantas forrageiras cultivadas, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.....	32
Figura 15 - Matéria seca das raízes (MSR) das plantas forrageiras cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.	33
Figura 16 - Teor de fósforo (P) no colmo de planta forrageira cultivada em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.	37
Figura 17 - Teor de potássio (K) no colmo das plantas forrageiras cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.	38
Figura 18 - Teor de cálcio (Ca) no colmo das plantas forrageiras cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.	39
Figura 19 - Teor de fósforo (P) nas folhas de planta forrageira cultivada em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.	40
Figura 20 - Teor de potássio (K) nas folhas das plantas forrageiras cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.....	41
Figura 21 - Teor de cálcio (Ca) nas folhas das plantas forrageiras cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise de variância para altura da planta, diâmetro do colmo, número de folhas (NF), número de perfilhos (NP), matéria seca das folhas (MSF), colmo (MSC) e das raízes (MSR) das plantas forrageiras, cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.	25
Tabela 2 - Análise de variância para os teores de cálcio (Ca), fósforo (P), potássio (K) e magnésio (Mg) nos tecidos da folha e colmo das plantas forrageiras, cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.....	25
Tabela 3 - Análise química do biochar de caroço de açaí produzido à temperatura de 400 °C, utilizado para o cultivo de plantas forrageiras, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.	26
Tabela 4 - Análise química do solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, após o cultivo das plantas forrageiras, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Amapá
Ca	Cálcio
CaO	Óxido de cálcio
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
H+Al	Hidrogênio + Alumínio
IFAP	Instituto Federal do Amapá
K	Potássio
Mg	Magnésio
MgO	Óxido de Magnésio
MSPA	Matéria Seca da Parte Aérea
MSR	Matéria Seca das Raízes
MSC	Matéria Seca do Colmo
PRNT	Poder Relativo de Neutralização Total
pH	Potencial Hidrogeniônico
P	Fósforo
SB	Soma de Bases
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
V	Saturação por Bases
MO	Matéria Orgânica
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Geral	15
2.2 Específicos	15
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1 A cultura do açaí (<i>Euterpe oleraceae</i> Mart.)	16
3.2 Descarte do caroço de açaí	16
3.4 Biochar (biocarvão)	17
3.5 Solos do cerrado amapaense	17
4 MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1 Descrição da área.....	19
4.3 Caracterização química e granulométrica do solo	20
4.4 Delineamento experimental e tratamentos.....	21
4.5 Preparo do solo e propagação das forrageiras.....	21
4.5 Análises biométricas	22
4.6 Análises químicas do material vegetal e do solo	23
4.7 Análise estatística.....	24
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
5.1 Caracterização química do biochar	26
5.2 Análise biométrica	27
5.3 Produção de matéria seca	29
5.4 Caracterização química do solo.....	33
5.5 Teores dos nutrientes no tecido vegetal	37
6 CONCLUSÕES.....	43
REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de sistemas agrícolas está ligado à presença e quantidades adequadas de nutrientes essenciais, aliados às características físicas e biológicas do solo (Gurgel *et al.*, 2020). De acordo com Brito *et al.* (2019) existe uma grande necessidade de alcançar uma produção viável e que ao mesmo tempo seja menos poluente, o que leva a busca contínua por fontes de nutrientes, que sejam eficientes, econômicos e acessíveis aos produtores.

No cerrado do Amapá, dentre as classes de solo, destaca-se o Latossolo Amarelo Distrófico, com aproximadamente 127.696,51 ha de 266.917,70 ha mapeados (Venturieri *et al.*, 2017). Os Latossolos apresentam 36.872,78 ha caracterizados como de boa aptidão física e sem impedimentos a mecanização, por serem solos com relevos planos a ondulados, para agricultura e pecuária, mas apresentam propriedades químicas indesejáveis, como a baixa saturação por bases, baixo nível de fertilidade natural e elevada acidez devido ser um solo altamente intemperizados (Venturieri *et al.*, 2017), necessitando de corretivos e fertilizantes para alcançar sua capacidade produtiva.

Para o uso e a produção sustentável dos Latossolos, há a necessidade da utilização de insumos agrícolas e emprego de tecnologias que visem sua conservação, com sistemas de produção capazes de garantir ou aumentar a produção e a qualidade das culturas (Venturieri *et al.*, 2017). Assim, associar ao manejo o uso dos resíduos sólidos disponíveis, vem se tornando uma necessidade mundial e ambiental, sendo necessário a caracterização e o reaproveitamento destes materiais, atuando na melhoria dos sistemas de manejos produtivos e na conservação do solo, bem como, do meio ambiente (Catânio *et al.*, 2021).

A região Norte é responsável pela produção de 84 mil toneladas de frutos de açaí, que depois de aproveitar sua polpa, os caroços não têm um descarte correto, caracterizando como um elemento de elevado potencial para a poluição (Miranda *et al.*, 2022). O Decreto nº 86.955, de 18 de fevereiro de 1982, classifica os fertilizantes como substâncias minerais ou orgânicas, podendo ser natural ou sintético, capaz de fornecer um ou mais nutrientes às plantas. Com base na Política Nacional de Resíduos sólidos (PNRS), lei nº 12.305/2010, permite a elaboração de técnicas para a reutilização e o aproveitamento dos resíduos produzidos em diferentes áreas sem exploração (Brasil, 2010; Zelaya, 2016), podendo assim ser reaproveitado na forma de biocarvão através da pirólise de sua biomassa gerando um agregado sólido orgânico (Gray *et al.*, 2014; Lehmann *et al.*, 2011).

O biochar ou biocarvão, consiste em um material sólido, obtido com a transformação química em elevadas temperaturas e baixa taxa de oxigênio, e também muito rico em carbono,

que quando adicionado ao solo condiciona e melhora suas características químicas, físicas e biológicas (Silva *et al.*, 2017). O uso do biochar tem a finalidade de elevar a quantidade de água disponível no solo, elevar o teor de carbono orgânico no solo e elevar o pH de solos ácidos, atuando como condicionador e melhorando a produtividade das culturas (Carvalho *et al.*, 2021).

Cada biocarvão tem propriedades próprias que estão ligadas à matéria prima e ao modo de como é preparado, garantindo a este a capacidade de condicionar, corrigir e elevar a saturação por bases e diminuir o alumínio do solo (Garbuz *et al.*, 2021). Logo, estudar os efeitos e o potencial condicionador do solo pelo biocarvão, torna-se de elevada importância para a melhoria dos solos do cerrado do Amapá. E a utilização de biocarvões, provenientes de biomassas vegetais, tal como o caroço de açaí, mostra-se uma alternativa viável e ecologicamente sustentável, uma vez que sua utilização no solo permite o aproveitamento do resíduo, com a disponibilização dos nutrientes que são extraídos pelas plantas e fixados no tecido vegetal, além da melhoria de suas propriedades físicas, química e biológicas (Arruda *et al.*, 2016).

Nas regiões tropicais os pastos nativos estão sendo substituídos por gramíneas dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* (Euclides *et al.*, 2019). Essas forrageiras têm alto potencial produtivo na disponibilidade de água, luz, temperatura e principalmente de nutrientes, o que reforça a importância, dentre outras, do manejo adequado da correção e adubação do solo (Gurgel *et al.*, 2020). O *Panicum Maximum* cv. Mombaça, apresenta boa produção e qualidade de massa em comparação às demais forrageiras, porém tem exigência de solos com boa fertilidade para alcançar sua máxima produção e qualidade (Catânio *et al.*, 2021).

Neste contexto, o estudo do efeito do biochar como condicionador do solo é de suma importância para a melhorias das propriedades do solo e conseqüentemente para o aumento da produção e da qualidade do pasto.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o crescimento, a produção e a nutrição das forrageiras, *Panicum maximum* cv. Mombaça e *Pennisetum purpureum* Schum. cv. BRS Kurumi, cultivadas em solo de cerrado submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí.

2.2 Específicos

- Caracterizar a composição química do biochar de resíduo de açaí produzido a temperatura de 400 °C.
- Avaliar a biometria por meio da altura e do diâmetro das plantas, bem como, pela quantificação do número de perfilhos e das folhas das plantas forrageiras cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar;
- Avaliar a biomassa por meio da determinação da matéria seca das plantas forrageiras cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar;
- Determinar os teores dos nutrientes no tecido foliar das plantas forrageiras cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A cultura do açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.)

O açaí é uma palmeira nativa da Amazônia sendo cultivada no Brasil, em especial, no estuário amazônico, e é considerada um superalimento (Miranda *et al.*, 2022). O fruto do açaí, que é proveniente da palmeira quando na fase adulta de ocorrência do bioma amazônico, é um destaque socioeconômico da região norte, principalmente, e brasileira com o processo de industrialização e comercialização da polpa (Martins *et al.*, 2020).

No Amapá, a produção dos frutos do açaí foi de 27 mil toneladas no ano de 2017 e na região total do estado do Pará foram responsáveis pela produção de 57 mil toneladas (Miranda *et al.*, 2022).

A composição das sementes de açaí tem por volta de 46% de carbono, 7% de hidrogênio, 38% de oxigênio, 8% de nitrogênio, 0,1% de enxofre, o fósforo com 0,17%, o potássio com 0,48%, o cálcio com 0,03%, magnésio com 0,02% e para micronutrientes 167, 181, 22 e 40 mg kg⁻¹ de ferro, manganês, zinco e boro, respectivamente (Sato *et al.*, 2020). Segundo os mesmos autores, este elevado teor de carbono demonstra que as sementes de caroços de açaí podem ser reaproveitadas, logo é um material vegetal que tem grande potencial para ser utilizado como biocarvão.

Com relação ao rendimento de polpa, o açaí apresenta uma elevada quantidade de resíduo produzido com pequena quantidade de polpa extraída, o que reforça a importância da busca de meios para o reaproveitamento, desenvolvendo pesquisas no setor (Miranda *et al.*, 2021).

3.2 Descarte do caroço de açaí

A origem e a produção de resíduos sólidos, estão ligadas ao mal aproveitamento dos insumos, bem como as perdas durante a cadeia agroindustrial (Miranda *et al.*, 2022). O agroprocessamento no Brasil é uma grande indústria e gera uma grande quantidade de resíduos, que para cada região é um grande desafio seu descarte (Sato *et al.*, 2020).

Após o processamento, os resíduos (caroços de açaí), são dispostos no meio ambiente de maneira incorreta. Esse descarte pode ganhar um potencial poluidor, são descartados nas ruas dentro de sacos plásticos, as margens das rodovias, de rios e de igarapés, promovendo dentre as consequências, a redução do oxigênio e a eutrofização da água (Martins *et al.*, 2020). Apenas na região norte do Brasil, com o elevado consumo de açaí, gera-se em torno de 1,6 a 2 toneladas de resíduos por dia (Oliveira *et al.*, 2020).

O manejo desses resíduos é uma necessidade mundial, já que as práticas sustentáveis são essenciais em cadeias industriais, contribuindo com o aproveitamento dos resíduos na característica de insumos em processos produtivos, obtendo maior eficiência e integração nas atividades industriais e agropecuárias (Catânio *et al.*, 2021).

A política nacional de resíduos sólidos, lei N° 12.305 2010, prevê as medidas corretas de como promover o destino final destes resíduos, bem como, seu local mais adequado de descarte, contribuindo com a redução dos danos e/ou riscos à saúde. Dentre essas medidas, destacam-se: a reciclagem, a reutilização, a compostagem, o aproveitamento energético, a recuperação, ou outras destinações (Brasil, 2010).

3.4 Biochar (biocarvão)

O biochar, biocarvão ou carvão com finalidades agrícolas, é um material produzido a partir de resíduos e restos orgânicos com elevada densidade de carbono em uma combustão limitada de oxigênio, pirólise (Wang; Wang, 2019). Muitos estudos apresentam os benefícios que o biocarvão tem no solo, pois apresentam melhores condições químicas e físicas, como a redução da densidade do solo, elevação da capacidade de troca catiônica, elevação de pH e atua no incremento de carbono orgânico no solo (Yan *et al.*, 2021).

O biocarvão contém em suas propriedades, nutrientes e teor de carbono lábil que interagem com a microbiota do solo, podendo aumentar a população de microrganismos no solo (Garbuz *et al.*, 2021). As propriedades de cada biocarvão estão diretamente ligadas ao tipo de matéria-prima e como são obtidos, podendo ter capacidade de agir como corretivo de solo, elevando a saturação por bases e reduzindo o alumínio do solo (Garbuz *et al.*, 2021).

Além de fornecer nutrientes e carbono, o biochar tem características de melhorias na absorção e redução da perda de nutrientes em determinados solos agrícolas (Qayyum *et al.*, 2021), com isso, atraindo atenção devido às características e demanda por estudos (Wang; Wang, 2019). Segundo os mesmos autores, quando aplicado ao solo o biochar promove o aumento da fertilidade e da capacidade de produção, com elevado aporte nutricional. Neste contexto, estudos ainda reforçam que a aplicação do biochar tem capacidade de melhorar a biodisponibilidade de fósforo na superfície de solos de textura arenosa (Maia *et al.*, 2021).

3.5 Solos do cerrado amapaense

No Estado do Amapá, a ocorrência dos solos é geralmente de características ácidas e tendo baixa fertilidade natural (Araújo *et al.*, 2014). Dentre as principais classes de solo,

apresentam-se os Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho Amarelos, Argissolos Vermelho Amarelos e Gleissolos (Melém Júnior *et al.*, 2008).

Um dos atributos do solo que contribui para a redução da produtividade das culturas é a acidez do solo, que é potencializada em ambientes que apresentam elevados índices de precipitação pluviométrica e elevada intemperização (Araújo *et al.*, 2014). Além disso, a baixa fertilidade natural do solo, devido ao seu processo de formação, contribui para a sua baixa capacidade produtiva, sendo fator limitante para a produtividade das culturas (Melém Júnior *et al.*, 2008).

De acordo com a FAO (2015), aproximadamente, 33% dos solos no mundo estão em processo de degradação em diferentes níveis, sendo as atividades humanas as que mais colaboram e que causam a degradação dos solos (Salomão *et al.*, 2020).

3.6 Plantas forrageiras

A espécie *Panicum maximum* com a cultivar Mombaça, pertence à família poaceae, é uma planta perene, tropical, que apresenta alto valor nutricional caracterizada como uma das forrageiras mais utilizadas na alimentação e nutrição animal, para produção de leite e de corte no Brasil (Gomide *et al.*, 2016). Associado a alta produtividade, traz qualidade e adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, sobretudo é muito exigente em relação à fertilidade do solo (Euclides, 2014).

O capim elefante, da espécie *Pennisetum purpureum* Schum. é uma das mais importantes dentre as espécies cultivadas, com extensa adaptação às regiões tropicais e subtropicais do mundo (Rosa *et al.*, 2019). Segundo os mesmos autores, essa forrageira se destaca devido ao elevado potencial de produção de biomassa, qualidade, vigor e persistência no campo, sendo utilizada como capineira, ensilagem e pastejo.

E na busca por novas cultivares de capim elefante para o pastejo, a Embrapa, lançou em 2015 a cultivar de capim elefante anão, o BRS Kurumi (Rosa *et al.*, 2019). A cultivar BRS Kurumi (*Pennisetum purpureum* Schum.), apresenta como características: porte baixo, elevada taxa de crescimento e elevada taxa de rebrota (Martins *et al.*, 2021). Os mesmos autores ainda acrescentam que a cultivar apresenta rusticidade ao pastejo, com o pastejo rotacionado sendo o mais indicado; e elevada qualidade nutricional para nutrição e produção animal, sendo uma forrageira de elevado potencial produtivo.

Estudar e avaliar o potencial produtivo destas espécies forrageiras, contribui com a descrição e fomento do conhecimento, devido ao elevado potencial produtivo da *Panicum maximum* e do melhoramento genético da *Pennisetum purpureum* Schum.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição da área

O experimento foi realizado no período de março de 2023 a outubro de 2023, em casa de vegetação, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá – *Campus* Agrícola Porto Grande, localizado no município de Porto Grande - AP (Figura 1). O clima da região é caracterizado como Am, isto é, tropical superúmido, com a temperatura variando entre 32,6 °C e 20 °C, segundo Köppen-Geiger (Ecotumucumaque, 2010).

Figura 1 - Casa de vegetação do IFAP, *Campus* Agrícola Porto Grande, Amapá, Brasil.



Fonte: Autor (2023).

4.2 Produção do biochar (biocarvão)

Para a produção do biocarvão, os caroços de açaí foram coletados de beneficiadoras (batedeiras) do município de Porto Grande - AP, descartados próximo aos estabelecimentos. Após coletados foram lavados, triturados em triturador-picador com motor elétrico (Figura 2a) para realizar a quebra dos caroços e depois levados à estufa para pré secagem. Em seguida foram acondicionados em bandeja de alumínio dentro da estufa de circulação forçada de ar (Figura 2b), em temperatura de 105°C de média por 48 horas, após esse tempo foram calcinados em forno tipo mufla conforme Dias *et al.* (2019) e Araújo *et al.* (2021), com a temperatura ajustada para 400 °C em uma taxa de aquecimento de 5° por minuto. A mufla utilizada foi do modelo 1200° 6,7L Semi Automático Digital (Figura 2c). Depois da mufla atingir a temperatura final (400°C), permaneceu por 4 horas para poder desligar o equipamento.

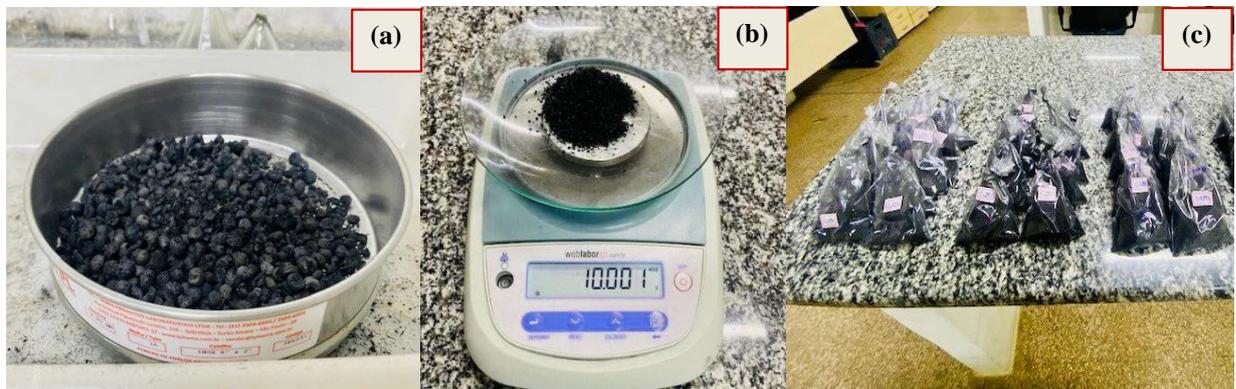
Figura 2 - Triturador/picador com motor elétrico (a), estufa de circulação de ar forçado (b) e forno tipo mufla da marca spencer (c).



Fonte: Autor (2023).

Após o período de calcinação, o material foi resfriado de maneira natural, dentro da mufla até atingir a temperatura ambiente. Para ser aplicado e incorporado ao solo, o material foi peneirado em peneira de 2 mm de abertura (Figura 3a), pesado (Figura 3b) e em seguida separado de acordo com a concentração corresponde os tratamentos estudados (Figura 3c). Antes da aplicação do biochar no solo foi separado uma amostra do material e enviada para o laboratório para posterior caracterização química do biochar.

Figura 3 - Peneiramento (a), pesagem (b) e separação das concentrações do biochar de caroço de açaí.



Fonte: Autor (2023).

4.3 Caracterização química e granulométrica do solo

Para a caracterização química e granulométrica do solo, foi realizada a coleta de 10 (dez) amostras simples, homogêneas e retirada uma amostra composta e enviada ao laboratório para análises. A granulometria foi realizada segundo a metodologia descrita por Claessen (1997) e a caracterização química de acordo com Raji *et al.* (2001), sendo o teor de

carbono orgânico (CO) determinado conforme Yeomans e Bremner (1988). O solo amostrado apresentou a seguinte análise química: pH 4,4; 9,72 g kg⁻¹ de carbono orgânico; 17 mg dm⁻³ de P; K, Ca+Mg, H + Al, SB e CTC iguais a 0,02; 0,3; 5,2; 0,3 e 5,5 cmol_c dm⁻³, respectivamente, e V = 5%. Os resultados da granulometria foram: 194, 769 e 37 g kg⁻¹ de argila, areia e silte, respectivamente.

4.4 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), arranjado em esquema fatorial 5x2, com quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Os fatores foram constituídos do tratamento controle (sem aplicação de biochar) e quatro concentrações de biochar de caroço de açaí (0,125; 0,25; 0,375 e 0,5%), que corresponderam as doses de 10, 20, 30 e 40 g vaso⁻¹ de biochar; e duas espécies de plantas forrageiras (*Panicum maximum* cv. Mombaça e *Pennisetum purpureum* Schum. cv. BRS Kurumi). As concentrações do biochar foram escolhidas segundo Costa *et al.* (2021).

As unidades experimentais foram compostas com vasos plásticos, contendo plantas forrageiras, com 8 dm³ de solo, coletado na camada arável (0,00-0,20 m), de um Latossolo Amarelo Distrófico textura franco-arenosa (Santos *et al.*, 2013), em área de cerrado do município de Porto Grande/AP.

4.5 Preparo do solo e propagação das forrageiras

Após a coleta, o solo foi seco ao ar, destorroado, homogeneizado e passado em peneira com malha de 2 mm de abertura, de aço inoxidável. Sendo a correção da acidez do solo realizada 45 dias antes do cultivo das plantas forrageiras, utilizando-se o equivalente a 2,1 t ha⁻¹ de calcário agrícola (MAPA, 2004), com 32% de CaO, 15% de MgO e PRNT de 92%, para elevar a saturação por bases a 60% (Raij *et al.*, 2001; Brasil *et al.*, 2020), acondicionando 8,0 g vaso⁻¹ de calcário, em sacos plásticos para a incubação e reação do corretivo.

Após o período de reação do calcário foi efetuada a aplicação e incubação das doses de biochar, aplicando a quantidade estipulada para cada unidade. Após incorporado, o biochar ficou reagindo com o solo durante 15 dias, sendo revolvido de dois em dois dias para acelerar sua reação e estabilização.

Antes do cultivo foi efetuada uma adubação de base, por meio da água de irrigação em todos os vasos, com macro e micronutrientes conforme recomendação proposta por Brasil *et al.* (2020) e Malavolta (2006). Sendo 100 kg ha⁻¹ de N (Nitrogênio), 60 kg ha⁻¹ K (Potássio), 70 kg ha⁻¹ de SFS (Fósforo) e 50 kg ha⁻¹ de micronutrientes (FTE BR 12). Correspondo a 227,3

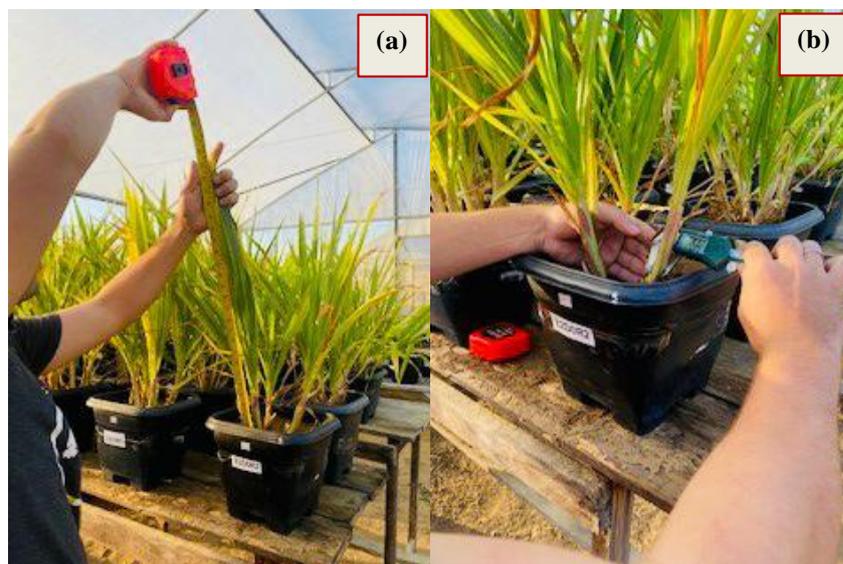
kg ha⁻¹ de uréia; 100 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio; 388,9 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 50 kg ha⁻¹ de micronutrientes, na frita de FTE BR12. Foi aplicado 0,91 g de Uréia vaso⁻¹; 0,4 g de KCl vaso⁻¹; 1,56 g de SFS vaso⁻¹ e 0,2 g de FTE BR 12 vaso⁻¹.

Para o cultivo das plantas forrageiras utilizou-se, por vaso, 15 (quinze) sementes da cultivar Mombaça e 3 (três) estacas da cultivar BRS Kurumi mantendo-se duas plantas após o desbaste, realizado 10 (dez) dias após a emergência (DAE) (Brasil, 2009). Durante a condução do experimento, a umidade do solo foi mantida próximo a 70% do volume total de poros, condição de capacidade de campo, completando-se com água quando necessário, de acordo com o método de estimativa de evapotranspiração diária das plantas, conforme descreve Salvador (2011).

4.5 Análises biométricas

Ao final de 90 dias de cultivo, foram determinados, a altura da planta (medida com fita métrica, do colo da planta à extremidade final da última folha) (Figura 4a) e o diâmetro do colmo (com paquímetro digital) (Figura 4b). Além disso, também foi quantificado o número de perfilhos e o número total de folhas por planta.

Figura 4 - Coleta dos dados biométricos de altura (a) e do diâmetro do colmo (b) das plantas forrageiras cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.



Fonte: Autor (2023).

Para avaliar a produção das espécies, a parte aérea e a radicular foram coletadas e determinados a matéria seca de folhas (MSF) (Figura 5a), matéria seca do colmo (MSC) (Figura

5a) e matéria seca da raiz (MSR) (Figura 5b). As plantas foram coletadas separando folha, colmo e raiz, para secagem em estufa. O solo dos vasos foi revolvido e o sistema radicular das plantas retirado e lavado cuidadosamente para a retirada de resíduos de solo.

Figura 5 - Coleta da biomassa aérea (a) e radicular (b) das plantas forrageiras cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.



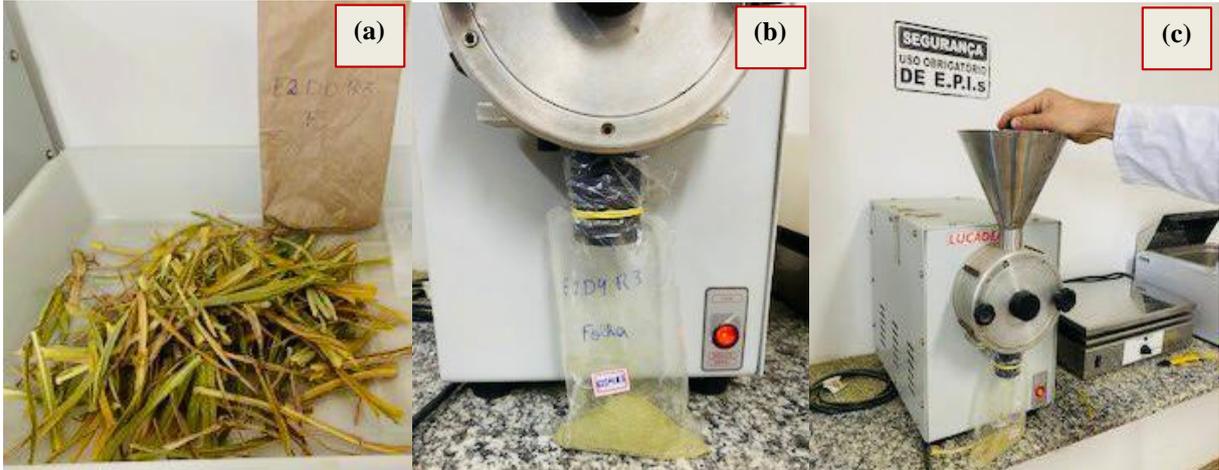
Fonte: Autor (2023).

4.6 Análises químicas do material vegetal e do solo

O material vegetal da parte aérea e das raízes das plantas forrageiras, foram acondicionadas em sacos de papel, previamente identificados (Figura 6a), em seguida secos em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 72 h, até atingir peso constante.

Após obter a matéria seca, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley para determinação dos teores de P, K, Ca e Mg, conforme metodologia descrita por Nogueira *et al.* (2005) (Figura 6b e 6c). Além disso, após a coleta do material vegetal, também foi coletada uma amostra composta do solo, de cada tratamento, para caracterização química, conforme Embrapa (2017), com a finalidade de observar o efeito da aplicação do biochar como condicionador da fertilidade do solo (Figura 7).

Figura 6 - Procedimento de moagem (a) e identificação do material vegetal (b), em moinho tipo Wiley (c), para posterior determinação dos teores de nutrientes.



Fonte: Autor (2023).

Figura 7 - Coleta de amostras de solo, por tratamento, para caracterização química e avaliação do efeito condicionador das doses de biochar de caroço de açúcar.



Fonte: Autor (2023).

4.7 Análise estatística

Os resultados foram submetidos a análise de variância; quando significativo pelo teste F, as médias das espécies de plantas forrageiras foram comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$) e o efeito das concentrações do biochar analisado por regressão, ajustando-se às equações para expressar o comportamento das variáveis. A análise estatística foi realizada utilizando o software AgroEstat (Barbosa; Maldonado Jr, 2014).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que a interação entre as fontes de variação foi influenciada ($p < 0,01$) apenas para as variáveis, número de perfilhos e matéria seca das raízes. As concentrações de biochar influenciaram as variáveis, número de perfilhos ($p < 0,01$), matéria seca das folhas ($p < 0,05$) e matéria seca do colmo ($p < 0,01$). As espécies forrageiras influenciaram ($p < 0,01$) as variáveis estudadas, com exceção da variável, altura da planta (Tabela 1).

Os nutrientes disponíveis nos tecidos das plantas forrageiras sobre a aplicação de biochar de caroço de açaí, apresentaram diferença ($p < 0,05$) para P presente nos tecidos das folhas e para P e K nos tecidos do colmo (Tabela 2). Para o P presente nas folhas, o maior teor foi observado na concentração de 0,125% de biochar, demonstrando que a concentração proporcionou um maior acúmulo deste elemento que foi disponibilizado pelo biochar no solo e depois absorvido pela planta.

Tabela 1 - Análise de variância para altura da planta, diâmetro do colmo, número de folhas (NF), número de perfilhos (NP), matéria seca das folhas (MSF), colmo (MSC) e das raízes (MSR) das plantas forrageiras, cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.

Fonte de variação	G.L	Quadrado Médio						
		Altura	Diâmetro	NF	NP	MSF	MSC	MSR
Biochar (B)	4	1,33 ^{ns}	2,08 ^{ns}	2,51 ^{ns}	6,21 ^{**}	2,76 [*]	4,56 ^{**}	1,41 ^{ns}
Espécies (E)	1	1,12 ^{ns}	100,15 ^{**}	64,85 ^{**}	408,03 ^{**}	37,67 ^{**}	36,47 ^{**}	27,15 ^{**}
B x E	4	0,79 ^{ns}	0,19 ^{ns}	1,77 ^{ns}	6,89 ^{**}	0,58 ^{ns}	0,88 ^{ns}	11,69 ^{**}
CV (%)	-	8,07	16,87	21,17	18,41	7,00	11,60	24,77

CV = coeficiente de variação; ^{ns} = não significativo; ^{*} = significativo ($p < 0,05$) e ^{**} = significativo ($p < 0,01$) pelo teste F. Fonte: Autor (2023).

Tabela 2 - Análise de variância para os teores de cálcio (Ca), fósforo (P), potássio (K) e magnésio (Mg) nos tecidos da folha e colmo das plantas forrageiras, cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.

Fonte de variação	G.L	Quadrado Médio							
		Teor na folha, mg g ⁻¹				Teor no colmo, mg g ⁻¹			
		Ca	P	K	Mg	Ca	K	Mg	P
Biochar (B)	4	0,12 ^{ns}	4,66 [*]	0,70 ^{ns}	5,29 ^{**}	2,06 ^{ns}	3,75 [*]	0,41 ^{ns}	5,16 ^{**}
Espécies (E)	1	0,85 ^{ns}	0,14 ^{ns}	142,52 ^{**}	3,05 ^{ns}	32,19 ^{**}	97,51 ^{**}	3,51 ^{ns}	302,37 ^{**}
B x E	4	0,66 ^{ns}	93,39 ^{**}	3,27 [*]	0,39 ^{ns}	3,21 ^{**}	3,97 [*]	0,35 ^{ns}	2,45 ^{ns}
CV (%)	-	20,65	6,04	9,54	23,19	25,72	12,34	47,17	14,65

CV = coeficiente de variação; ^{ns} = não significativo; ^{*} = significativo ($p < 0,05$) e ^{**} = significativo ($p < 0,01$) pelo teste F. Fonte: Autor (2023).

5.1 Caracterização química do biochar

A caracterização química do biochar de caroço de açaí descreveu as concentrações dos macronutrientes contidos em sua matéria e disponível quando em contato com a solução aquosa. (Tabela 3). O pH do meio em avaliação (água) demonstrou que a temperatura e o tempo de exposição do caroço de açaí, proporcionou um pH de 6,6 uma faixa adequada para o cultivo de diversas plantas (Malavolta, 2009; Santos, 2013; Brasil *et al.*, 2020). O valor de pH do biochar estudado foi semelhante ao encontrado por Costa (2021), que produzindo biochar de sementes de caroço de açaí a 400 °C, encontrou valor de pH igual a 6,7 e CTC igual a 93,5 mmol_c kg⁻¹.

Tabela 3 - Análise química do biochar de caroço de açaí produzido à temperatura de 400 °C, utilizado para o cultivo de plantas forrageiras, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.

pH	C.O	P	K	Ca+Mg	Ca	Al	H+Al	SB	T	V	m
H ₂ O	g/kg	----- mg/dm ³ -----	----- cmol _c /dm ³ -----	----- % -----	----- % -----						
6,6	8,32	244,5	3.519,00	6,1	-	0,1	7,9	7,2	15,1	48	1

C.O = Carbono orgânico; SB = Soma de bases; T = CTC a pH_{7,0}; V = Saturação por bases e m = Saturação por alumínio. Fonte: Autor 2023.

Quanto ao teor de carbono orgânico encontrado para o biochar, observa-se que contém teores elevados em sua constituição (8,3 g kg⁻¹), garantindo assim a adição do material que é necessário no solo, tendo em vista o aumento da fertilidade, da biologia e da melhoria das condições físicas do solo. A quantidade de potássio na amostra (3.519,00 mg dm⁻³) de biochar de resíduo de caroços de açaí analisado é classificada como muito alta (>90 mg dm⁻³) de acordo com critérios definidos por Brasil *et al.*, (2020). E em relação ao teor de K no solo antes do experimento (0,02 cmol_c dm⁻³), o biochar é um material muito rico no macronutriente.

O fósforo foi o elemento que apresentou maior teor no biocarvão, sendo de 244,5 de P mg dm⁻³ de amostra, classificado como muito alta (>25 mg dm⁻³). Segundo Costa *et al.*, (2021), os biocarvões, de caroços de açaí e castanha-do-Brasil, promovem aumento nos teores de K e do P no solo, que também é proporcional as taxas aplicadas, sendo a de fósforo elevada independente da temperatura de pirólise (400 e 700 °C), pois o processo de produção permite a liberação destes nutrientes no material. Esses nutrientes inorgânicos, tais como P e K são retidos na composição do biocarvão após a pirólise (Zhang *et al.*, 2020), o que podem melhorar as condições químicas do solo.

Em relação a outras bases do solo, o Ca e o Mg foram classificados como alta (>5,0 cmol_c dm⁻³), de acordo com critérios definidos por Brasil *et al.*, (2020). Em relação ao Al tóxico

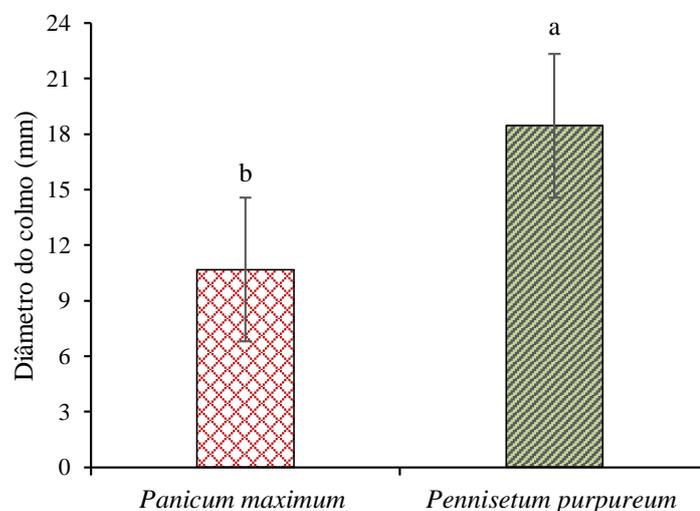
em elevada quantidade no solo, com a caracterização verificou-se o baixo teor Al, que segundo a mesma recomendação o classifica como baixa ($<0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), diferente comportamento pode ser observado com a análise do H+Al, que foram classificados como alta, podendo ter riscos de provocar o aumento da acidez do solo e possíveis distúrbios fisiológicos na planta, caso os teores tóxicos no solo não forem corrigidos (Taiz; Zeiger, 2007).

A soma de base, a capacidade de troca de cátions e a saturação por bases, foram classificadas como muito boa, muito alta e média, respectivamente (Ribeiro *et al.*, 1999). Estas condições permitem interpretar que o biochar oriundo dos caroços de açaí proporciona a melhora da fertilidade do solo, porém a depender da concentração a ser utilizada, do tempo de reação e da estabilização entre as partículas e os coloides do solo. Os componentes analisados do biochar de caroço de açaí, para pH, fósforo, potássio, tem níveis próximos como os encontrados por Costa *et al.* (2021), produzidos com caroço de açaí e castanha-do-Brasil.

5.2 Análise biométrica

O diâmetro do colmo das plantas forrageiras apresentou diferença ($p<0,01$), sendo o *P. purpureum* cv. BRS Kurumi a cultivar que apresentou 72,75% maior em desenvolvimento do colmo (18,45 mm), em relação ao *P. maximum* cv. Mombaça (10,68 mm) (Figura 8). O maior diâmetro é resultado da qualidade genética do *P. purpureum* cv. BRS Kurumi, que apresenta um menor alongamento, mas uma touceira densa (Rosa *et al.*, 2019).

Figura 8 - Diâmetro do colmo das plantas forrageiras cultivadas, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.



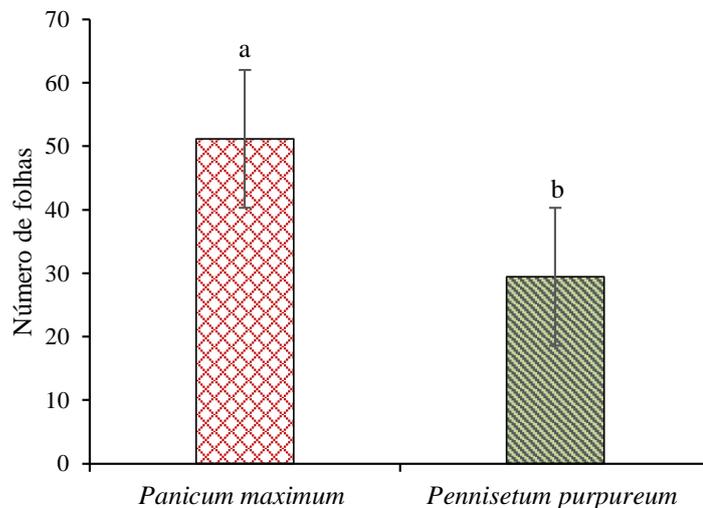
Barras verticais representam os erros-padrão das médias. Letras distintas indicam diferença significativa pelo teste Tukey ($p<0,01$). Fonte: Autor (2023).

O colmo tem um papel importante no crescimento das forragens, em tendo relação direta com a altura, podendo interferir em processos de competição por luz (Costa, 2021). O *P. purpureum* cv. BRS Kurumi, da família dos capins elefante é de porte baixo, mas apresenta um bom desenvolvimento do colmo em diâmetro e um pequeno alongamento em altura, levando a um maior desenvolvimento em relação ao *P. maximum* cv. Mombaça (Martins *et al.*, 2021; Pacheco, 2022).

O número de folhas das plantas forrageiras apresentou diferença ($p<0,01$), sendo que o *P. maximum* cv. Mombaça apresentou maior número de folhas por perfilho, com 73,82% maior (51,14 folhas) em relação ao *P. purpureum* cv. BRS Kurumi que apresentou 29,42 folhas por perfilho (Figura 9).

O número de folhas do *P. purpureum* cv. BRS Kurumi, em comparação com outras cultivares de capim elefante, apresenta um maior número de folhas e de perfilhos por ser uma cultivar anão e melhorada geneticamente (Martins *et al.*, 2021), também apresenta um porte mais baixo e colmo com internódios menores, com boa produção de folhas (Rosa *et al.*, 2019). Porém, em relação a cultivar Mombaça, por ser um *Panicum*, apresentou maior produção de perfilhos, e isso deve-se ao seu hábito e comportamento de crescimento, caracterizado como cespitoso.

Figura 9 - Número de folhas das plantas forrageiras cultivadas, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.

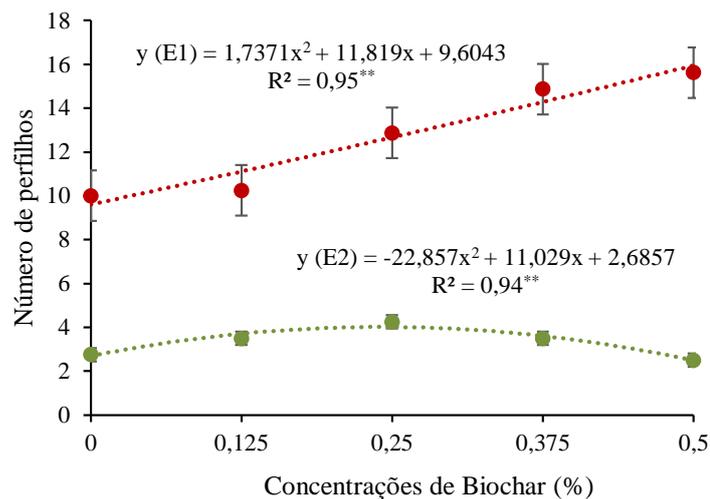


Barras verticais representam os erros-padrão das médias. Letras distintas indicam diferença significativa pelo teste Tukey ($p<0,01$). Fonte: Autor (2023).

A interação entre os fatores (concentrações de biochar e espécies forrageiras) influenciou ($p<0,01$) o número de perfilhos, apresentando comportamento quadrático (Figura

10). Para o *P. maximum* cv. Mombaça, as concentrações de 0,2; 0,375 e 0,5 % proporcionaram um maior número de perfilhos para as plantas (12,87; 14,87 e 15,62 perfilhos, respectivamente). Para o *P. purpureum* cv. BRS Kurumi, todas apresentaram um comportamento semelhante, sendo a concentração de 0,241% a de maior valor, que proporcionou maior número de perfilhos (4,01 perfilhos).

Figura 10 - Número de perfilhos das plantas forrageiras cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.



Barras verticais em cada ponto representam os erros-padrão das médias. ** = $p < 0,01$ significativo pelo teste Tukey. E1 = *Panicum maximum* cv. Mombaça e E2 = *Pennisetum purpureum* Schum. cv. BRS Kurumi. Fonte: Autor 2023.

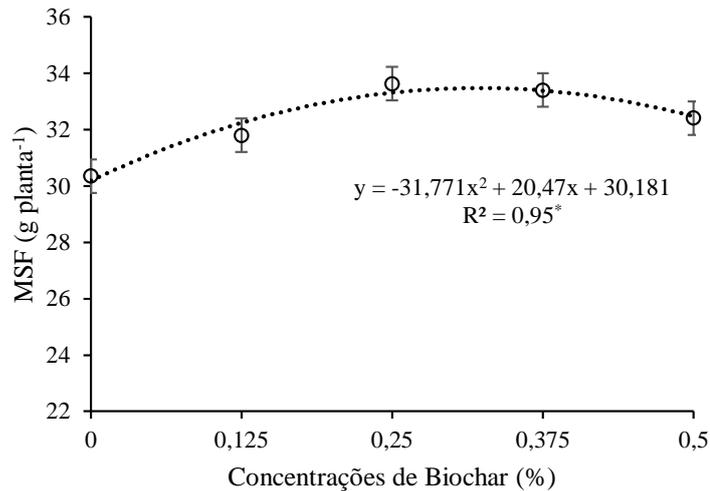
Em experimento de campo com cultivares de capim elefante, Pacheco (2022), observou que as doses de biochar proporcionaram uma pequena tendência para variação e quanto maior o incremento na dose de biochar de cinzas de carvão de eucalipto maior era o número de plantas. Florentino *et al.* (2019) estudando a cultivar Mombaça em Argissolo Vermelho-Amarelo, observaram que as plantas apresentaram diferença em relação as concentrações de fósforo aplicado ao solo, descrevendo que quanto maior a dose no estudo maior foi o desempenho produtivo, com o maior perfilhamento (6,62 perfilhos no primeiro corte e 10,25 perfilhos no segundo) na dose de 160 kg ha^{-1} , demonstrando que o biochar de caroço de açaí, por ter elevada concentração de fósforo em sua composição, quando aplicado ao solo tem efeito positivo na liberação do nutriente, levando a elevação produtiva nas plantas de capim.

5.3 Produção de matéria seca

A matéria seca das folhas (MSF) foi influenciada ($p < 0,05$) pelas concentrações de biochar, apresentado efeito quadrático e se ajustando ao gráfico de regressão polinomial. A

concentração de 0,322 % de biochar de caroço de açaí foi a que apresentou a maior produção de MSF (33,48 g planta⁻¹), pois nesta concentração o comportamento das plantas de capim foi máximo, reduzindo com o aumento na aplicação de biochar. Porém, foi semelhante as concentrações de 0,125; 0,375 e 0,5 com produção de matéria seca de 31,80; 33,41 e 32,41 g planta⁻¹, respectivamente (Figura 11).

Figura 11 - Matéria seca das folhas (MSF) de planta forrageira cultivada em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.



Barras verticais em cada ponto representam os erros-padrão das médias. * = $p < 0,05$ significativo, pelo teste Tukey. Fonte: Autor 2023.

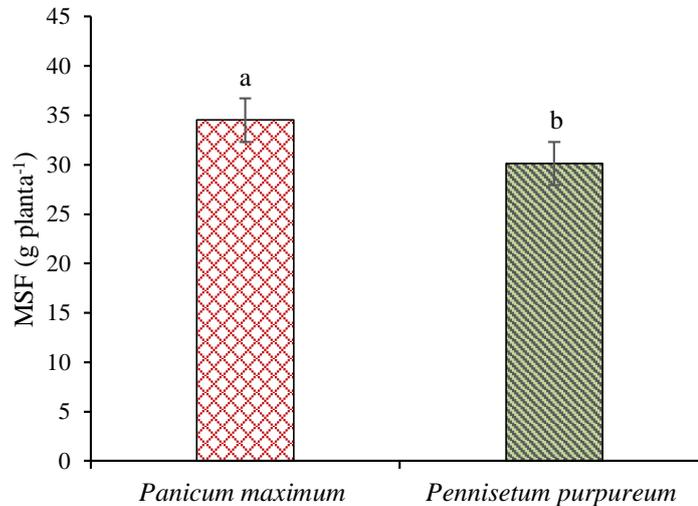
Pacheco (2022) estudando doses de biochar de eucalipto em Nitossolo Vermelho Eutrófico, verificou que as mesmas apresentaram diferença de 28,8% na maior dose em relação ao controle. Esta redução, pode ser devido ao efeito hidrofóbico do biochar e o curto espaço de tempo para reação com o solo e com o aumento das doses, esta redução deve-se principalmente com a interação do biochar nos atributos do solo, dentre eles a imobilização de nutrientes e a elevação da relação C/N, já que é um material rico em carbono.

Em trabalho desenvolvido com *Brachiaria Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás em Latossolo foi observado que o tratamento sem a aplicação do biochar, obteve menor crescimento da planta em comparação ao que recebeu o tratamento, com incremento de 18,28% de biochar, em vista da menor disponibilidade dos nutrientes para as plantas, produzido com esterco bovino (Santos Júnior *et al.*, 2022).

O *P. maximum* cv. Mombaça proporcionou maior (34,52 g planta⁻¹) incremento de matéria seca de folhas (MSF) das plantas forrageiras, em comparação o *P. purpureum* cv. BRS

Kurumi ($30,12 \text{ g planta}^{-1}$) (Figura 12). A cultivar Mombaça, por apresentar um maior número de perfilhos em relação a BRS Kurumi, também apresentou uma maior MSF.

Figura 12 - Matéria seca das folhas (MSF) das plantas forrageiras cultivadas, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.

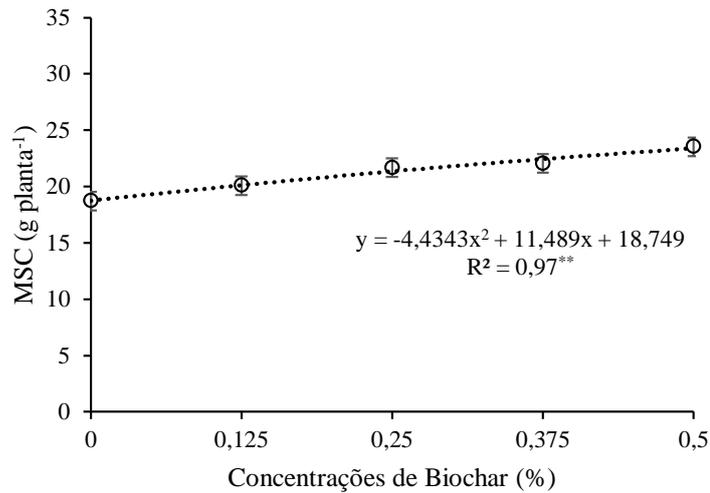


Barras verticais representam os erros-padrão das médias. Letras distintas indicam diferença significativa pelo teste Tukey ($p < 0,01$). Fonte: Autor (2023).

O *P. purpureum* cv. BRS Kurumi caracteriza-se por apresentar uma boa taxa de crescimento, com rápido perfilhamento e expansão foliar (Rosa *et al.*, 2019). Porém, o *P. maximum* cv. Mombaça, apresentou maior perfilhamento, logo obtendo maior acúmulo de matéria seca, já que também é influenciada pela disponibilidade de fósforo. Neste contexto, Florentino *et al.* (2019) estudando o desenvolvimento do cultivar Mombaça em Argissolo Vermelho-Amarelo, observaram que o crescimento da cultivar apresentou comportamento linear em relação as doses de fósforo no solo, atingindo máximo rendimento ($7,6 \text{ g planta}^{-1}$) com a dose aproximada de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 . O potencial produtivo e a competição do cultivar Mombaça é explicado devido sua fisiologia, principalmente no processo de transpiração e absorção de nutrientes, e da água (Santos Jesus, 2021).

A matéria seca do colmo (MSC) apresentou efeito positivo ($p < 0,01$) em relação a aplicação das concentrações de biochar verificando comportamento quadrático da variável após ajuste da equação da reta. A concentração de 0,5% de biochar de caroço de açaí apresentou maior produção de MSC, com um acúmulo de $23,53 \text{ g planta}^{-1}$. As concentrações de 0,125; 0,25 e 0,375 proporcionaram acúmulos de 20,09; 21,66 e $22,04 \text{ g planta}^{-1}$ de MSC, respectivamente (Figura 13).

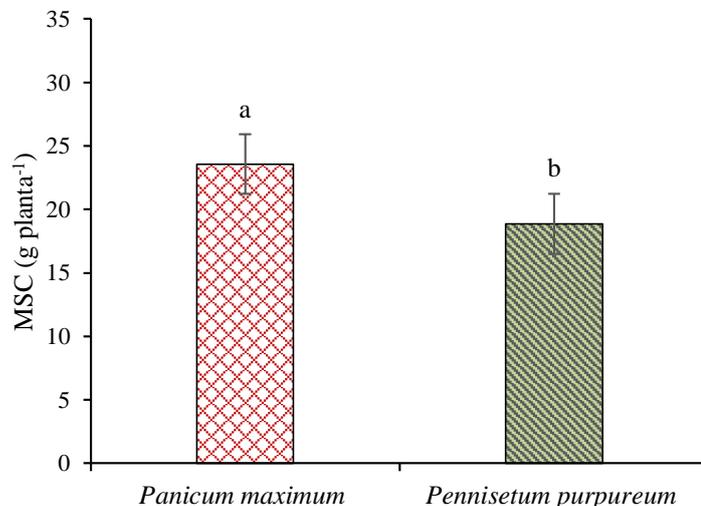
Figura 13 - Matéria seca do colmo (MSC) de planta forrageira cultivada em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.



Barras verticais em cada ponto representam os erros-padrão das médias. ** = $p < 0,01$ significativo, pelo teste Tukey. Fonte: Autor 2023.

A MSC das plantas forrageiras também teve maior produção ($p < 0,01$) com o *P. maximum* cv. Mombaça (23,56 g planta⁻¹) quando comparada com o *P. purpureum* cv. BRS Kurumi (18,86 g planta⁻¹) (Figura 14). Assim como para a produção de MSF, a cultivar Mombaça teve maior produção para a MSC, devido as relações do material genético e a rusticidade da Mombaça.

Figura 14 - Matéria seca do colmo (MSC) das plantas forrageiras cultivadas, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.

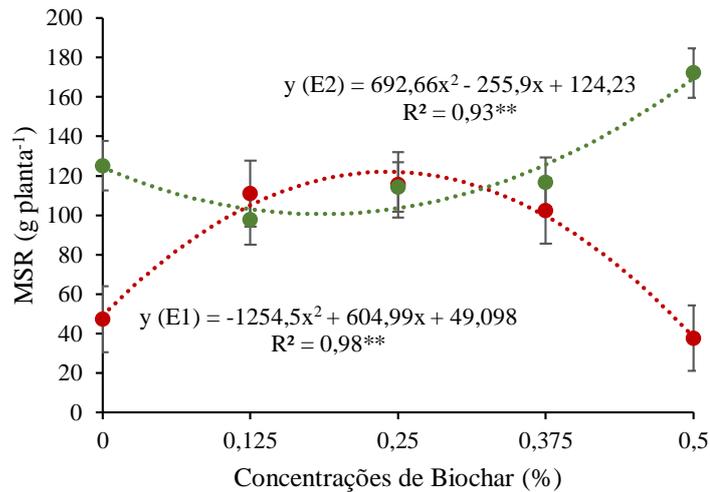


Barras verticais representam os erros-padrão das médias. Letras distintas indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,01$). Fonte: Autor (2023).

Para a cultivar Mombaça, a relação entre a densidade das plantas e a taxa de oferta de forragem, quando levado em consideração, estas atribuem a própria densidade de plantas uma tendência de competição pela luz, resultando em maior alongamento do colmo (Santos Jesus, 2021), o que interfere diretamente no rendimento produtivo de MSC.

A matéria seca da raiz (MSR) apresentou diferença ($p < 0,01$) em relação as espécies forrageiras estudadas. O *P. purpureum* cv. BRS Kurumi teve maior acúmulo de MSR (181,49 g planta⁻¹) em relação ao *P. maximum* cv. Mombaça (42,76 g planta⁻¹) (Figura 15).

Figura 15 - Matéria seca das raízes (MSR) das plantas forrageiras cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.



Barras verticais representam os erros-padrão das médias. ** = $p < 0,01$ significativo pelo teste de Tukey. E1 = *Panicum maximum* cv. Mombaça e E2 = *Pennisetum purpureum* Schum. cv. BRS Kurumi. Fonte: Autor (2023).

O desenvolvimento da parte aérea das plantas, também depende de um sistema radicular bem desenvolvido. A cultivar BRS Kurumi se sobressaiu em relação a cultivar Mombaça devido a características genéticas ligadas ao melhoramento, realizado pelo programa de melhoramento da Embrapa (Pereira *et al.*, 2021), que quando maior o aporte das raízes maior a capacidade de absorver e captar nutrientes e água no solo.

5.4 Caracterização química do solo

A análise química do solo após o cultivo das plantas forrageiras é importante para avaliar o efeito da aplicação do biochar como condicionador da fertilidade do solo. O pH das amostras de solo, manteve-se na faixa ideal do potencial hidrogeniônico, com média de 6,32 e o maior pH pode ser observado na concentração de 0,125 % de biochar de caroço de açaí

(Tabela 3). Vale destacar a importância que o período de reação e estabilização do material com o solo (15 dias neste estudo), foi de extrema importância para elevar o potencial de liberação de nutrientes no solo. Quando aplicado biochar no solo, mesmo sem a calagem Santos Júnior *et al.* (2022), em cultivo de forrageiras, observaram melhorias nas condições de pH e redução da acidez do solo.

Tabela 4 - Análise química do solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, após o cultivo das plantas forrageiras, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.

Biochar	pH	C.O	P	K	Ca+Mg	Al	H+Al	SB	T	V	m
%	H ₂ O	g/kg	mg/dm ³	----- cmolc/dm ³ -----				----- % -----			
<i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça											
0	6,3 abB	8,42 bB	16 dA	0,01 bB	4,2 aA	0,1 a	2,5 bA	4,2 aA	6,7 aA	63 bB	2,5 a
0,125	6,6 aA	8,32 cB	19 cA	0,02 aA	3,8 abA	0,1 a	2,6 aA	3,85 abA	5,9 abA	65 bB	2,6 a
0,25	6,4 aB	8,22 dA	19 cA	0,02 aA	3,85 abA	0,1 a	1,6 cB	3,85 abA	5,9 abA	65 bA	1,6 a
0,375	6,2 bB	9,12 aA	28 aA	0,02 aA	3,7 abA	0,1 a	1,6 cA	3,7 abA	5,3 abA	70 abB	1,6 a
0,5	6,1 bB	8,32 cA	22 bA	0,02 aA	3,3 bA	0,1 a	1,2 dA	3,3 bA	4,5 bA	73 aB	1,2 a
<i>Pennisetum purpureum</i> Schum. cv. BRS Kurumi											
0	6,5 bA	8,82 aA	16 cA	0,02 aA	3,2 bB	0,1 a	1,3 bB	3,2 bB	4,5 bB	71 cdA	1,3 a
0,125	6,6 abA	8,42 bA	20 bA	0,02 aA	3,3 bB	0,1 a	1,1 cB	3,3 bB	4,4 bB	75 bcA	1,1 a
0,25	6,7 abA	8,12 dB	19 bA	0,02 aA	4,3 aA	0,1 a	2,2 aA	4,3 aA	6,5 aA	66 dA	2,2 a
0,375	6,8 aA	8,12 dB	21 abB	0,02 aA	3,4 bA	0,1 a	0,7 eB	3,4 bA	4,1 bB	83 aA	0,7 a
0,5	6,7 abA	8,32 cA	23 aA	0,01 bB	3,7 abA	0,1 a	0,9 dB	3,7 abA	4,6 bA	80 abA	0,9 a

C.O = Carbono orgânico; SB = Soma de base; T = CTC a pH_{7,0}; V = saturação por bases. Letras minúsculas na coluna comparam diferentes concentrações de biocarvão na mesma espécie, ao nível de 5% probabilidade pelo teste Tukey; Letras maiúsculas na coluna comparam diferentes espécies na mesma concentração de biocarvão, ao nível de 5% probabilidade pelo teste Tukey. Fonte: Autor 2023.

O tratamento que proporcionou o maior teor de fósforo no solo foi a concentração 3,375% de biochar, com teor de 28 mg de P dm^{-3} e a concentração de 0,5% com teor de 23 mg dm^{-3} . O potássio teve baixo teor descrito na análise de solo com média de 0,02 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, sendo menor apenas no tratamento controle com 0,01 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, para Mombaça e para BRS Kurumi, apenas a 0,5% foi de 0,01 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ as outras concentrações com 0,02 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$. Corroborando com este estudo, Santos Júnior *et al.*, (2022), encontraram que ao aplicar biochar de esterco bovino houve aumento no acúmulo de macronutrientes no tecido de *Brachiaria*, sendo maior que no controle, quando também aplicado K e realizada a calagem.

Cunha *et al.* (2019) em estudo com a cultura do milho verificaram que a aplicação de biocarvão, proveniente da palha de café conilon, proporcionou incremento aos teores de P e K, com crescimento linear no teor desses nutrientes presentes no solo. Os mesmos autores afirmam que, independentemente do tipo de textura do solo, o biocarvão propiciou propriedades de potencializar o P e K fornecido pela água residuária, elevando esse teor no solo, com a presença de sítios eletroquímicos em superfície dos biocarvões, atuando na retenção de nutrientes

Para o Ca e Mg no solo, os teores encontrados foram positivos, sendo as concentrações utilizadas no estudo, ideais para o cultivo de plantas da família das poaceas (Brasil *et al.*, 2020). Além disso foi verificado que o aumento da concentração do biochar no solo, reduziu o teor de Ca e Mg da análise de solo, sendo o maior teor para o controle e para a concentração de 0,125% com 4,2 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, e reduzindo conforme o aumento da concentração do biochar. O cálcio é um elemento de baixa mobilidade na planta e que apresenta importantes funções estruturais, nas membranas e paredes celulares (Yamamoto *et al.*, 2011), sendo seu nível de disponibilidade no solo essencial para o crescimento e manutenção das plantas.

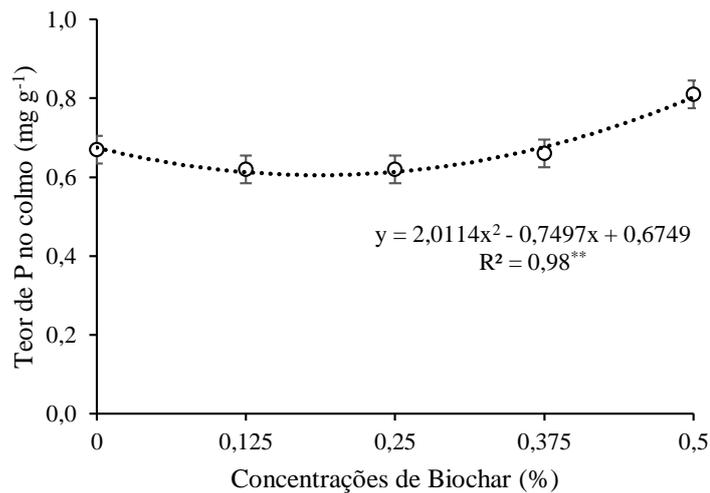
Corroborando com este estudo Costa (2021), encontrou diferença em relação aos atributos químicos do solo, quando aplicado biochar de caroço de açaí, podendo corresponder com o aumento de cada dose para pH, K, MO e sendo inversamente proporcional para Al, H+Al, CTC e P para um período de 30 e 90 dias de incubação.

Os dados encontrados com o biochar de caroço de açaí em interação com o solo, divergem dos encontrados por Feix (2020), já que não observou diferença para matéria orgânica, pH em H_2O , P, Ca, Mg e a CTC do solo, apenas para K em relação a comparação do controle e do tratamento com o biochar. Pode-se inferir que tal efeito tem ligação com o material de origem do biochar, a temperatura e o tempo de pirólise (Garbuz *et al.*, 2021), bem como a cultura que é cultivada.

5.5 Teores dos nutrientes no tecido vegetal

Para o teor do P nos tecidos do colmo foi maior na concentração de 0,5% de biochar, pois proporcionou um aumento 28,7 % ($0,81 \text{ mg g}^{-1}$) de amostra seca (Figura 16). Evidenciando que o P disponível no biochar foi liberado no solo e pode ser absorvido e translocado aos tecidos do colmo das plantas.

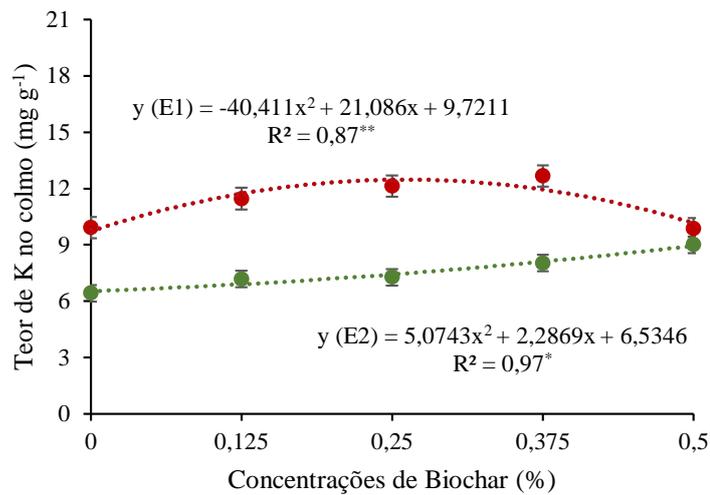
Figura 16 - Teor de fósforo (P) no colmo de planta forrageira cultivada em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.



Barras verticais em cada ponto representam os erros-padrão das médias. ** = $p < 0,01$ significativo, pelo teste Tukey. Fonte: Autor 2023.

O potássio contido nos tecidos do colmo (Figura 17), também foi superior na concentração de 0,26% com o teor de $12,47 \text{ mg g}^{-1}$ para o *P. maximum* cv. Mombaça. Para o *P. purpureum* cv. BRS Kurumia maior concentração 0,5% de biochar de caroço de açaí, proporcionou o maior teor do nutriente ($9,01 \text{ mg g}^{-1}$) que foi absorvido e translocado para os tecidos, o que permite explicar o baixo teor na análise do solo, demonstrando a diferença em que o biochar de caroço de açaí proporciona na nutrição dos tecidos vegetais das plantas forrageiras.

Figura 17 - Teor de potássio (K) no colmo das plantas forrageiras cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.

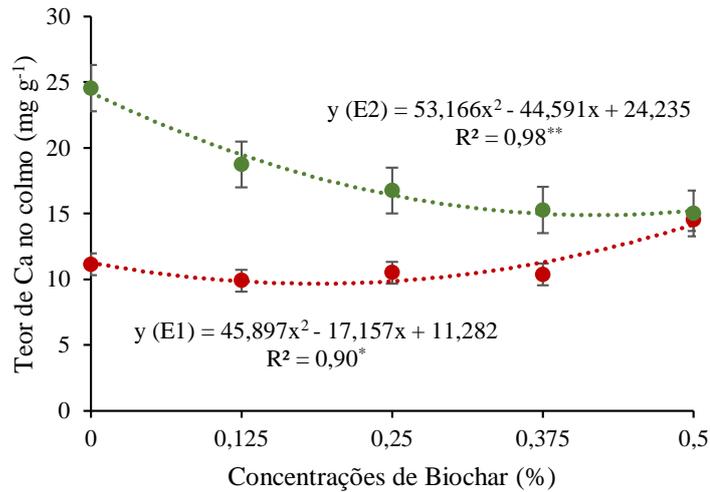


Barras verticais em cada ponto representam os erros-padrão das médias. * = $p < 0,05$ e ** = $p < 0,01$ significativo, pelo teste Tukey. E1 = *Panicum maximum* cv. Mombaça e E2 = *Pennisetum purpureum* Schum. cv. BRS Kurumi. Fonte: Autor 2023.

O potássio é o mais absorvido e exportado para as partes aéreas das plantas de capim elefante, em diferentes ciclos (Morais et al., 2021), logo com o aumento na disponibilidade no solo através do biocarvão, maior foi o teor nos tecidos das plantas. Cunha *et al.* (2019), verificaram que para a cultura do milho cultivado com biocarvão e aplicação de água residuária em solos de diferentes texturas (média e argilosa), o biocarvão tem atuação na disponibilidade e uso do P pelas plantas e o teor de K nas plantas de milho cresceu linearmente com o aumento das doses do biocarvão de palha de café.

O cálcio tem comportamentos inversos em relação a interação com as espécies estudadas, descrevendo comportamento quadrático (Figura 18). Para as espécies pesquisadas, o *Panicum maximum* cv. Mombaça tem comportamento crescente em relação ao aumento da concentração do biocarvão de caroço de açaí no solo, com a concentração máxima responsável pelo teor de 14,53 mg g⁻¹, porém para o *Pennisetum purpureum* Schum. cv. BRS Kurumi, apresentou redução no teor de cálcio em seus tecidos, sendo o tratamento controle (sem aplicação de biochar) responsável pelo maior teor de cálcio no colmo (24,55 mg g⁻¹).

Figura 18 - Teor de cálcio (Ca) no colmo das plantas forrageiras cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.

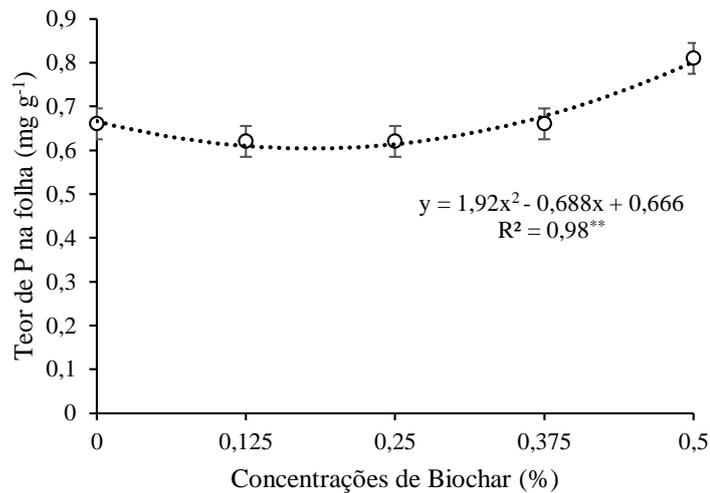


Barras verticais em cada ponto representam os erros-padrão das médias. * = $p < 0,05$ e ** = $p < 0,01$ significativo, pelo teste Tukey. E1 = *Panicum maximum* cv. Mombaça e E2 = *Pennisetum purpureum* Schum. cv. BRS Kurumi. Fonte: Autor 2023.

O cálcio desempenha importantes funções nos tecidos vegetais, sendo o principal na estruturação das células e crescimento celular (Malavolta, 2006). A espécie *P. maximum* cv. Mombaça se apresentou melhor em relação ao macronutriente, sendo característica da rusticidade da espécie em relação ao *P. purpureum* cv. BRS Kurumi, bem como o seu melhor aproveitamento fisiológico e biológico em relação a absorção e utilização destes nutrientes (Santos Jesus, 2021).

Analisando o teor de fósforo nas folhas, verificou-se que a aplicação das doses promoveu diferença ($p < 0,01$), ajustando ao gráfico de regressão polinomial (Figura 19). Ocorreu incremento na variável estudada com o aumento da concentração de biochar no solo, demonstrando que a maior aplicação (0,5%) promoveu o maior acúmulo nos tecidos (0,81 mg g⁻¹).

Figura 19 - Teor de fósforo (P) nas folhas de planta forrageira cultivada em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.

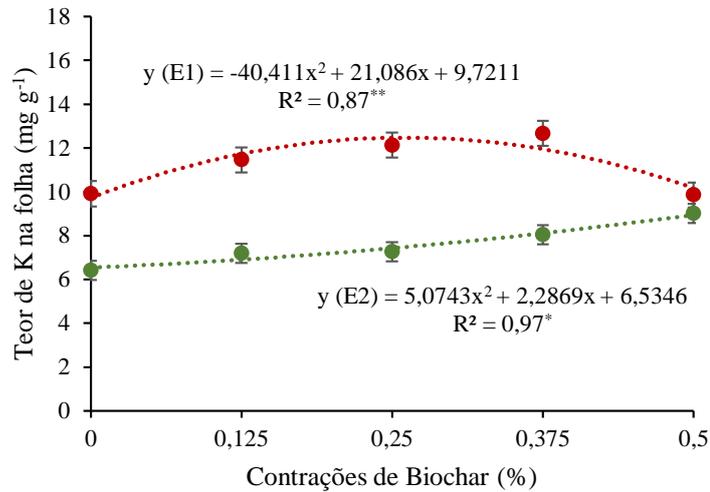


Barras verticais em cada ponto representam os erros-padrão das médias. ** = $p < 0,01$ significativo, pelo teste Tukey. Fonte: Autor 2023.

Bezerra *et al.* (2019) estudando o capim Marandú verificaram que o teor de P nas folhas, tem aumento linear com o aumento das doses de P, sendo o teor estimado de incremento de $0,007 \text{ g kg}^{-1}$ de P na folha para cada kg ha^{-1} de P aplicado ao solo. Assim, a elevada disponibilidade de P também proporcionou um aumento no acúmulo frente a disponibilidade no solo (Tabela 2), porém não sendo diferente quando aplicado uma maior concentração, podendo ter efeitos fitotóxicos (Malavolta, 2006; Brasil *et al.*, 2020). Vale ressaltar que tanto o biochar de resíduo de açaí quanto o período de reação do material com o solo, promovendo a liberação e estabilização, é essencial para ocorrência de seus efeitos e do maior aproveitamento pela cultura.

Para o potássio presente nas folhas, o teor teve comportamento quadrático para as duas espécies, sendo crescente para o *P. purpureum* cv. BRS Kurumi, também com a maior dose tendo maior acúmulo ($9,01 \text{ mg g}^{-1}$) (Figura 20). A espécie *P. maximum* cv. Mombaça concentração de 0,26 % teve seu ponto de máxima para o teor de potássio ($12,47 \text{ mg g}^{-1}$), apresentando redução com o incremento das doses a partir de 0,375%, o aumento da concentração para o maior estudado ocasionando redução de 28,1 % em relação a anterior.

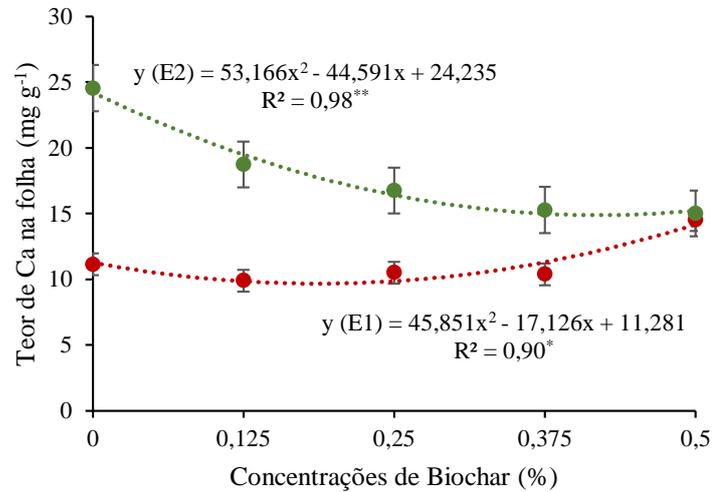
Figura 20 - Teor de potássio (K) nas folhas das plantas forrageiras cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.



Barras verticais em cada ponto representam os erros-padrão das médias. * = $p < 0,05$ e ** = $p < 0,01$ significativo, pelo teste Tukey. E1 = *Panicum maximum* cv. Mombaça e E2 = *Pennisetum purpureum* Schum. cv. BRS Kurumi. Fonte: Autor 2023.

O cálcio presente nas folhas de capim, assim como no colmo, tem comportamentos semelhantes para as duas espécies estudadas, sendo observado um crescimento para o *P. maximum* cv. Mombaça e um decréscimo para *P. purpureum* cv. BRS Kurumi (Figura 21). O aumento da concentração de biochar de caroço de açaí, promoveu a elevação no teor de cálcio nas folhas da cultivar Mombaça, sendo a maior dose estudada a de maior teor (14,53 mg g⁻¹) e a cultivar BRS Kurumi apresentou redução com o aumento das concentrações, sendo a maior sem a aplicação do biochar (controle) (24,55 mg g⁻¹).

Figura 21 - Teor de cálcio (Ca) nas folhas das plantas forrageiras cultivadas em solo submetido à aplicação de biochar de caroço de açaí, em casa de vegetação, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.



Barras verticais em cada ponto representam os erros-padrão das médias. * = $p < 0,05$ e ** = $p < 0,01$ significativo, pelo teste Tukey. E1 = *Panicum maximum* cv. Mombaça e E2 = *Pennisetum purpureum* Schum. cv. BRS Kurumi. Fonte: Autor 2023.

Os resultados divergem dos encontrados por Feix (2020), onde avaliaram diferentes condicionantes do solo para a cultura do milho, onde o solo do experimento em vasos, classificado como Fluvissoilo êutrico não apresentou diferença entre o controle e o tratamento aplicado com biochar de lenha de poda de acácia para os nutrientes P, K, Ca e Mg na matéria seca das plantas.

Este fato, pode ser explicado principalmente pelo material utilizado e a temperatura do processo de pirólise, o material de origem tem importante ligação em relação a composição e a liberação dos elementos após a obtenção do biocarvão (Garbuz *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2020). Assim, há relatos que quanto maior o tempo de contato e estabilização do biochar com solo, maior é seu efeito no rendimento das culturas, para que as reações sejam totais (Pacheco, 2022).

6 CONCLUSÕES

A concentração de 0,5% de biochar de caroço de açaí proporciona maior ganho no número de plantas e de matéria seca do colmo; e a concentração de 0,25% apresenta maior produção de matéria seca das folhas das plantas forrageiras.

A espécie *Panicum maximum* cv. Mombaça apresenta maior produção de matéria seca da parte aérea e o *Pennisetum purpureum* cv. BRS Kurumi proporciona maior produção de matéria seca das raízes.

A concentração de 0,375% de biochar proporciona maior teor de K, P e Ca, nos colmos, enquanto que a concentração de 0,5% de biochar contribui para maior teor de K, P e Ca, nas folhas das plantas forrageiras.

O uso do biochar oriundo de resíduos de caroço de açaí provenientes de cadeias produtivas da Amazônia promove uma série de melhorias nas características químicas de Latossolo Amarelo de textura franco-arenosa. Essas melhorias podem contribuir para promover um ambiente favorável ao desenvolvimento de espécies forrageira. Entretanto, ainda há necessidade de mais estudos sobre o assunto, principalmente no que se refere ao maior tempo de reação do biochar com o solo.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, D. M. F. *et al.* Acidez potencial de solos do Estado do Amapá estimada pelo método potenciométrico SMP. **Acta Iguazu**, v. 3, n. 3, p. 57-65, 2014.
- ARAÚJO, J. C. S. *et al.* Influência da cinza do caroço de açaí nas propriedades de argamassas de chapisco. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 13, n. 3, p. 216-226, 2021.
- ARRUDA, J. A. *et al.* Uso da cinza de biomassa na agricultura: efeitos sobre atributos do solo e resposta das culturas. **Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, v. 1, n. 30, p. 18, 2016.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JR, W. AgroEstat - **Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agronômicos**. Versão 1.1.0.712, 2014.
- BRASIL, Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, 2010.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS. ISBN 978-85-99851-70-8, p.206, 2009.
- BRASIL. **Ministério da Agricultura e Pecuária - MAPA**. Instrução Normativa n. ° 35, de 04 de julho de 2006, da Secretaria de Defesa Agropecuária – SDA do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Decreto n. ° 4.954/2004.
- BRASIL, *et al.* **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. 2020.
- BEZERRA, M. G. S. *et al.* **Crescimento e acúmulo de nutrientes do capim-marandu e resposta às adubações nitrogenada e fosfatada**. 2019.
- BRITO, R. S. *et al.* Rochagem na agricultura: importância e vantagens para adubação suplementar. **South American Journal of basic education, technical and technological**, v. 6, n. 1, p. 528-540, 2019.
- CATÂNIO, J. V. F. *et al.* Componentes Morfológicos de *Megathyrsus maximus* (Sin. *Panicum maximum*) cv. Mombaça adubados com resíduo líquido de farinha de mandioca. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 9, p. 86935-86947, 2021.
- CARVALHO, M. T de M.; MADARI, B. E.; SANTOS, J. L. S. **Biochar como condicionador de solo em sistemas agrícolas no Cerrado**. 2021.
- CLAESSEN, M. E. C. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212 p. 1997.
- COSTA, M. V. *et al.* **Biocarvões de resíduos de caroço de açaí e castanha-do-brasil como condicionantes de solo características químicas**. 2021.

COSTA, L. R. **Produção do capim *megathyrsus maximus* cv. mombaça sob diferentes fontes e doses de adubação nitrogenada.** 2021.

CUNHA, E. G. *et al.* **Biocarvão e água residuária de suinocultura: efeitos em atributos do solo, nutrição e desenvolvimento do milho.** 2019.

DIAS, Y. N. *et al.* Biochar produced from Amazonian agro-industrial wastes: properties and adsorbent potential of Cd²⁺ and Cu²⁺. **Biochar**, p. 1-12, 2019.

ECOTUMUCUMAQUE. **Estudo de Impacto Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico Cachoeira Caldeirão.** Macapá – AP, 2010, 65 p.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos.** 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 573p. 2017.

EUCLIDES, V. P. B. *et al.* Grazing intensity affects forage accumulation and persistence of Marandu palisadegrass in the Brazilian savannah. **Grass and Forage Science**, v. 75, n. 1, p. 1-13, 2019.

EUCLIDES, V. P. B. **Manejo do capim-mombaça para períodos de águas e seca.** Artigo/Notícias–Transferência de tecnologia, v. 3, Brasília-DF: EMBRAPA, 2014.

FAO (2015) – Status of the world’s soil resources (SWSR) – main report. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).** 2015.

FEIX, B. L. **Efeito do uso de biochar e zeólitos na dinâmica do fósforo no solo e na produtividade do milho.** 2020. 68 f. Dissertação (Mestre em Agroecologia) - Instituto Politecnico de Braganca, Bragança, 2020.

FLORENTINO, L. *et al.* Crescimento do capim *Panicum maximum* cv. “Mombaça” em resposta à adubação fosfatada na Amazônia Ocidental. **Enciclopédia Biosfera**, v. 16, n. 30, 2019.

GARBUZ, S. *et al.* Biochar amendment improves soil physico-chemical properties and alters root biomass and the soil food web in grazed pastures. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 319, p. 107517, 2021.

GOMIDE, C. A. M. *et al.* ***Panicum maximum* cvs. Tanzânia e Mombaça para uso em pastejo: produção e custo.** Circular Técnica 113. Juiz de Fora- MG: EMBRAPA, 2016.

GRAY, M.; JOHNSON, M. G.; DRAGILA, M. I.; KLEBER, M. Water uptake in biochars: the roles of porosity and hydrophobicity. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 61, p. 196-205, 2014.

GURGEL, A. L. C. *et al.* Compactação do solo: Efeitos na nutrição mineral e produtividade de plantas forrageiras. **Revista Científica Rural**, v. 22, n. 1, p. 13-29, 2020.

JÚNIOR, N. J. M. *et al.* **Adsorção e fósforo remanescente em Latossolo Amarelo Distrófico do cerrado do Amapá.** Brasília. 2008.

- LEHMANN, J.; RILLING, M.; THIES, J.; MASIELLO, C. A.; HOCKADAY, W. C.; CROWLEY, D. Biochar effects on soil biota: a review. **Soil and Biochemistry**, Elmsford, v.43, p.1812-1836, 2011.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.
- MAIA, C. M. B de F. *et al.* **Biochar e o eucalipto**. 2021.
- MARTINS, C. E. *et al.* **BRS Capiagu e BRS Kurumi: cultivo e uso**. Embrapa – Gado e Leite. Brasília – Df. 2021.
- MARTINS, M. M. *et al.* Resíduo do Açaí como inovação, economia e tecnologia sustentável. **Sociedade 5.0: Educação, Ciência, Tecnologia e Amor. Recife. V COINTER PDV Agro**. 2020.
- MORAIS, E. G. *et al.* **Marchas de crescimento e de acúmulo de nutrientes do capim-elfante**. 2021.
- MELÉM JÚNIOR, N. J. *et al.* Análise de componentes principais para avaliação de resultados analíticos da fertilidade de solos do Amapá, **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, p. 499 - 506, 2008.
- MELEM JUNIOR, N. J. *et al.* Proporção carbono lábil/carbono total do solo após aplicação de resíduos orgânicos. **FertBio**. 2008.
- MIRANDA, L. V. A. *et al.* Descarte e destino final de caroços de açaí na Amazônia Oriental-Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v. 25, 2022.
- MIRANDA, L. V. A.; DE MIRANDA, S. B.; DE VILHENA AMANAJÁS, V. V. Destino do caroço de açaí no município de Oiapoque-Ap: Destination of the açaí seed in the municipality of Oiapoque-AP. **Revista Geonorte**, v. 12, n. 39, p. 202-215, 2021.
- NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do solo e nutrição de plantas**. 2007.
- NOGUEIRA, A. R. A. *et al.* Capítulo 8 – Tecido Vegetal. In: NOGUEIRA, A. R. A. e SOUZA, G. B. **Manual de laboratórios: Solo, Água, Nutrição Vegetal, Nutrição Animal e Alimentos**. Embrapa - São Carlos - Sp: EMBRAPA-CPPSE. 2005.
- OLIVEIRA, T. M. C. *et al.* Aproveitamento das cinzas de caroço de açaí na produção de concreto sustentável analisando sua durabilidade. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 30749-30756, 2020.
- PACHECO, L. B. **Biochar na fertilidade do solo, morfometria e produção do capim elfante**. Tese de Doutorado. Instituto Federal de Educação Goiano - *Campus Ceres*. 2022.
- PEREIRA, A. V. *et al.* BRS Capiagu e BRS Kurumi: cultivo e uso. Brasília, DF: **Embrapa**, 2021.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais: Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais-5ª Aproximação. **Viçosa, MG, Brasil**, 1999.

ROSA, P. P. *et al.* Características do Capim Elefante *Pennisetum purpureum* (Schumach) e suas novas cultivares BRS Kurumi e BRS Guapiáçu. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 25, n. 1/2, p. 70-84, 2019.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 9, n. 1, p. 27-32, 2011.

SALOMÃO, P. E. A.; BARBOSA, L. C.; CORDEIRO, I. J. M. Recuperação de áreas degradadas por pastagem: uma breve revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, p. e57922057-e57922057, 2020.

SANTOS, H. G *et al.* Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3.ed. **Revista e ampliada**, Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 353 p.

SANTOS JÚNIOR, J. M. *et al.* **Pellets de biochar como condicionador de solo na produção e nutrição de Urochloa brizantha cv. BRS Paiaguás**. 2022.

SANTOS JESUS, P. H. **Capim mombaça e seu potencial produtivo**. 2021.

SATO, M. K. *et al.* Biochar as a sustainable alternative to açai waste disposal in Amazon, Brazil. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 139, p. 36-46, 2020.

SILVA, I. C. B. da *et al.* Growth and production of common bean fertilized with biochar. **Ciência Rural**, v. 47, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Universitat Jaume I, 2007.

VENTURIERI, A. *et al.* Mapeamento de solos e aptidão agrícola das terras do Cerrado Amapaense, realizado em escala de reconhecimento de alta intensidade, como subsídio ao MacroZEE. **Embrapa-AP**. ISSN 1983-0513. 2017.

QAYYUM, M. F. *et al.*, Effect of alkaline and chemically engineered biochar on soil properties and phosphorus bioavailability in maize. **Chemosphere**, v. 266, p. 128980, 2021.

YAMAMOTO, E. L.; FERREIRA, R. M.; FERNANDES, P. L. O.; ALBUQUERQUE, L. B.; ALVES, E. O. Função do cálcio na degradação da parede celular vegetal de frutos. **Revista Verde (Mossoró/RN)**, v. 6, n. 2, p. 49-55. 2011.

YAN, T. *et al.* Biochar-based fertilizer amendments improve the soil microbial community structure in a karst mountainous area. **Science of The Total Environment**, p. 148757, 2021.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

WANG, J.; WANG, S. Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 227, p. 1002-1022, 2019.

ZHANG, H., *et al.* Insight into the mechanism of low molecular weight organic acids-mediated release of phosphorus and potassium from biochars. **Science of The Total Environment**, 742: 140416, 2020.

ZELAYA, K. P. S. **Caracterização de biocarvão de lodo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar e efeitos no cultivo de beterraba**. 2016. 71 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claro, 2016.