



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

KARLA SAMYLLE DE QUEIROZ COSTA

**USO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS DA AMAZÔNIA E SEUS EFEITOS
SOBRE A QUALIDADE FÍSICA DO SOLO E A PRODUÇÃO DE CAPIM
MOMBAÇA EM LATOSSOLO AMARELO DE CERRADO AMAPAENSE**

PORTO GRANDE

2024

KARLA SAMYLLE DE QUEIROZ COSTA

**USO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS DA AMAZÔNIA E SEUS EFEITOS
SOBRE A QUALIDADE FÍSICA DO SOLO E A PRODUÇÃO DE CAPIM
MOMBAÇA EM LATOSSOLO AMARELO DE CERRADO AMAPAENSE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônoma, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá - IFAP, *Campus* Agrícola Porto Grande, como requisito avaliativo para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Nilvan Carvalho Melo

Coorientador: Prof. Me. Raphael Leone da Cruz Ferreira

PORTO GRANDE

2024

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

C873u Costa, Karla Samylle de Queiroz

Uso de resíduos agroindustriais da Amazônia e seus efeitos sobre a qualidade física do solo e produção de capim Mombaça em Latossolo Amarelo de cerrado amapaense / Karla Samylle de Queiroz Costa - Porto Grande, 2024.

81 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Porto Grande, Bacharelado em Engenharia Agrônômica, 2024.

Orientador: Nilvan Carvalho Melo. Coorientador: Raphael Leone da Cruz Ferreira.

1. Panicum maximum. 2. atributos físicos do solo. 3. produção sustentável. I. Melo, Nilvan Carvalho, orient. II. Ferreira, Raphael Leone da Cruz, coorient. III. Título.

KARLA SAMYLLE DE QUEIROZ COSTA

**USO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS DA AMAZÔNIA E SEUS EFEITOS
SOBRE A QUALIDADE FÍSICA DO SOLO E A PRODUÇÃO DE CAPIM
MOMBAÇA EM LATOSSOLO AMARELO DE CERRADO AMAPAENSE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônoma, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá-IFAP, *Campus* Agrícola Porto Grande, como requisito avaliativo para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

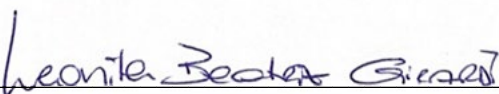
Orientador: Prof. Dr. Nilvan Carvalho Melo
Coorientador: Prof. Me. Raphael Leone da Cruz Ferreira

BANCA EXAMINADORA



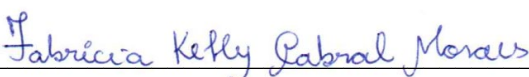
Orientador, Prof. Dr. Nilvan Carvalho Melo - Presidente

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá - IFAP



Profª. Dra. Leonita Beatriz Girardi - Examinador Interno

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá - IFAP



Profª. Dra. Fabricia Kelly Cabral Moraes - Examinador Externo

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

Apresentado em: 16/12/2024

Conceito/Nota: APROVADA/10,0

A Deus, Àquele que é capaz de fazer infinitamente mais do que tudo o que pedimos ou pensamos, de acordo com o seu poder que atua em nós, a ele seja a glória na igreja e em Cristo Jesus, por todas as gerações, para todo o sempre! Amém! (Efésios 3:20-21). Ao meu avô Sebastião Moacir de Queiroz (*in memoriam*), que sempre acreditou que a educação é o principal meio para transformar a nossa realidade, um grande encorajador e inspirador.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela concretização desta etapa acadêmica, cujo significado para mim é imensurável, e que marca o início de uma jornada profissional compromissada com a ciência, direcionada a buscar avanços sustentáveis na agricultura, visando contribuir para um futuro mais fértil, produtivo e equilibrado.

Sou imensamente grata pela presença do Espírito Santo em minha vida, que traz inspiração constante e guia meus passos, pela Sua força que é meu alicerce em todos os momentos, pela Sua bondade e fidelidade que são meu refúgio seguro e nunca falham, por me conceder vigor e resiliência para superar os desafios e não desistir diante das adversidades, esperança para vislumbrar um futuro brilhante, coragem para enfrentar o desconhecido e determinação para perseguir incansavelmente meus propósitos e sonhos.

Aos meus pais, Maria Sonale de Queiroz e José Newton Costa, por todo esforço investido na minha educação. Em especial, minha mãe que sempre esteve ao meu lado dando apoio, incentivo e atenção. Mãe, você é meu exemplo de força, coragem e persistência. Aos meus familiares, meus avós, tios, tias, madrinha, padrinho, primos e primas, meus pais e irmãos de coração, por todo estímulo, apoio e confiança.

Ao meu namorado e grande amigo, Cássio Oliveira, pela parceria e companheirismo ao longo dessa trajetória acadêmica, bem como por todo apoio e ajuda, que foram fundamentais para a implantação e condução desta pesquisa. Aos amigos que fiz durante esta jornada, e que muito me ajudaram nessa etapa experimental, Adrielim, Arthur, Cleverton, Diomax, Gizeli e Madson, assim como Gabriel e Caroline pela parceria ao longo do curso. Ao meu grupo de pesquisa, Grupo de Estudo em Solos e Plantas Cultivadas GESP/IFAP, pelas valiosas colaborações ao longo da minha trajetória acadêmica e científica, bem como nesta pesquisa de conclusão de curso.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Nilvan Carvalho Melo e coorientador, Prof. Me. Raphael Leone da Cruz Ferreira, agradeço imensamente por todas as oportunidades, pelo constante encorajamento, pela paciência e valiosa ajuda ao longo da minha formação acadêmica. Agradeço também por acreditarem no meu potencial e reconheço a importância da orientação deles para a construção desta pesquisa, bem como para o meu amadurecimento e aprendizado acadêmico e profissional ao longo desse processo.

A EMBRAPA Amapá, em especial ao pesquisador Dr. Nagib Jorge Melém Júnior e ao analista Dr. Daniel Marcos de Freitas Araújo, bem como a todos os técnicos laboratoriais,

pela parceria e apoio imprescindível para as análises do experimento e, conseqüentemente, finalização dessa pesquisa. A startup Amazon BioFert pela doação do biochar de caroço de açaí. A banca avaliadora profa. Dra. Leonita Beatriz Girardi e profa. Dra. Fabricia Kelly Cabral Moraes pela disponibilidade e valiosas contribuições que foram enriquecedoras para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão da bolsa e suporte financeiro para a condução da pesquisa. E ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá - IFAP, *Campus* Agrícola Porto Grande, seu corpo docente, direção, técnicos administrativos e terceirizados, que oportunizaram ensino e pesquisa de qualidade, me permitindo vislumbrar um horizonte de conquistas e sucesso profissional.

À minha brilhante professora de geografia do ensino médio, Crístian, que numa aula mostrou a animação “vamos falar sobre solos”, naquele dia confirmei que eu queria ser engenheira agrônoma (obrigada por ter iluminado meu caminho!). Às professoras Dra. Fabricia Kelly Cabral Moraes e Dra. Flaviana Gonçalves da Silva, mulheres fortes, humildes e inteligentes, profissionais/pesquisadoras competentes, por marcarem minha trajetória acadêmica (vocês são inspiradoras!).

Muito obrigada!

"O solo é o sustentáculo da vida e todos os organismos terrestres dele dependem direta ou indiretamente. É um corpo natural que demora para nascer, não se reproduz e morre com facilidade."

(Lima; Lima, 2001)

"O segredo da vida é o solo, porque do solo dependem as plantas, a água, o clima e a nossa vida. Tudo está interligado. Não existe ser humano sadio se o solo não for sadio"

(Ana Primavesi)

"É nosso dever proteger o maior patrimônio nacional, pois a nação que destrói o seu solo, destrói a si mesma."

(Theodore Roosevelt)

"Se reservarmos algum tempo para aprender a linguagem da terra, o solo falará conosco."

(Brady; Weil, 2013)

RESUMO

Diferentes tipos de degradação atingem cerca de 40% dos solos do mundo, concomitantemente, ao cenário de degradação das pastagens, onde no Brasil 50% das pastagens encontram-se em algum estágio de degradação. Diante disso, é necessário a promoção de práticas de manejo do solo que promovam o uso eficiente deste recurso e a sustentabilidade agrícola. Assim, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação (com e sem incorporação) de resíduos agroindustriais da Amazônia sobre os indicadores de qualidade física do solo e a produção de capim Mombaça, cultivado em Latossolo Amarelo de cerrado amapaense. O experimento foi realizado em área do cerrado no município de Porto Grande, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), arranjado em esquema fatorial 5x2, com quatro repetições. Os fatores foram constituídos do tratamento controle (T0: sem aplicação de resíduos da agroindústria), além de quatro resíduos agroindustriais (T1: biochar de pó de serragem (*Manilkara huberi*), T2: biochar de caroço de açaí (*Euterpe* spp.), T3: pó de serragem de Maçaranduba e T4: caroço de açaí triturado); e dois modos de aplicação (I1: sem incorporação e I2: com incorporação). Foi utilizada uma espécie de capim (*Panicum maximum* Cv. Mombaça). As variáveis analisadas foram: umidade gravimétrica do solo, índice de estabilidade de agregados, diâmetro médio ponderado, porosidade total do solo, densidade do solo, densidade de massa radicular, altura da touceira, diâmetro do colmo, número de perfilhos, número de folhas mortas, senescentes e vivas; relação folha/colmo, massa seca da folha e massa seca do colmo. A partir dessa pesquisa evidenciou-se que a diversificação do sistema de manejo, através da aplicação (com e sem incorporação) de resíduos agroindustriais induz melhorias nos indicadores de qualidade física do solo, na distribuição radicular e no ganho produtivo, tendo em vista o incremento na produção de biomassa do capim Mombaça.

Palavras-chave: *Panicum maximum*; atributos físicos do solo; produção sustentável; manejo do solo.

ABSTRACT

Different types of degradation affect approximately 40% of the world's soils, concomitantly with the scenario of pasture degradation, where in Brazil 50% of pastures are in some stage of degradation. In view of this, it is necessary to promote soil management practices that promote the efficient use of this resource and agricultural sustainability. Thus, the objective was to evaluate the effect of the application (with and without incorporation) of agro-industrial residues from the Amazon on soil physical quality indicators and the production of Mombaça grass, cultivated in Yellow Latosol of Amapá cerrado. The experiment was carried out in an area of the cerrado in the municipality of Porto Grande, the experimental design used was randomized blocks (DBC), arranged in a 5x2 factorial scheme, with four replications. The factors consisted of the control treatment (T0: without application of agroindustrial residues), in addition to four agroindustrial residues (T1: biochar from sawdust powder (*Manilkara huberi*), T2: biochar from açai seeds (*Euterpe* spp.), T3: sawdust powder from Maçaranduba and T4: crushed açai seeds); and two application modes (I1: without incorporation and I2: with incorporation). A species of grass (*Panicum maximum* Cv. Mombaça) was used. The variables analyzed were: gravimetric soil moisture, aggregate stability index, weighted average diameter, total soil porosity, soil bulk density, root mass density, clump height, stem diameter, number of tillers, number of dead, senescent and live leaves; leaf/stem ratio, leaf dry mass and stem dry mass. From this research it became evident that the diversification of the management system, through the application (with and without incorporation) of agro-industrial residues, induces improvements in the indicators of soil physical quality, root distribution and productive gain, considering the increase in the production of Mombaça grass biomass.

Keywords: *Panicum maximum*; physical attributes of soil; sustainable production; soil management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área experimental localizada no cerrado do município de Porto Grande, Instituto Federal do Amapá (IFAP), <i>Campus</i> Agrícola Porto Grande.....	32
Figura 2 - Precipitação pluvial (mm) mensal e a temperatura média do ar (°C) no município de Porto Grande/AP no período de dezembro/2023 a abril/2024.	33
Figura 3 - Croqui da disposição dos tratamentos na área, conforme o delineamento experimental.	34
Figura 4 - Coleta (a) e (b), revolvimento (c), pré-secagem (d), trituração (e) e secagem em estufa (f) dos resíduos.....	34
Figura 5 - Pó de serragem de <i>Manilkara huberi</i> embalado em papel alumínio (a) e acondicionado em mufla (b) para produção (c) de biochar (d).	35
Figura 6 - Aplicação dos resíduos agroindustriais, pó de serragem (a), biochar de pó de serragem e caroço de açaí triturado (b), biochar de caroço de açaí (c) sem e com incorporação dos resíduos aplicados (d).	36
Figura 7 - Caracterização física dos resíduos agroindustriais a partir da obtenção da massa fresca (a), saturação para obtenção de massa saturada (b), pesagem de massa seca (c) e amostras após secagem em estufa (d).	38
Figura 8 - Caracterização física dos resíduos agroindustriais a partir da determinação granulométrica do caroço de açaí triturado (a), biochar de caroço de açaí (b), pó de serragem (c) e biochar de pó de serragem (d).	39
Figura 9 - Amostragem (a) e peneiramento (b) de solo para obtenção de terra fina seca ao ar.	40
Figura 10 - Análise granulométrica pelo método da pipeta, dispersão (a e b), tamisamento (c e d) e sedimentação (e e f).....	41
Figura 11 - Amostragem (a) para caracterização química e granulométrica após implantação do experimento, toaleta (b) da amostra simples (c).....	42
Figura 12 - Demarcação (a; b) e limpeza (c; d) da área experimental.	44
Figura 13 - Aplicação do calcário (a) e (b), seguida da incorporação ao solo (c), pesagem dos adubos (d) e (e), realização das adubações de base (f) e coberturas (g).....	45
Figura 14 - Pesagem das sementes (a) e semeio (b) do <i>Panicum maximum</i> Cv. Mombaça. ..	45

Figura 15 - Coleta de amostras indeformadas nas camadas de 0-20 (a) e 20-40 cm (b), pré-limpeza no campo (c) e (d), acondicionamento em papel filme (e) e limpeza final das amostras no laboratório (e) e (g).....	46
Figura 16 - Pesagem da massa úmida (a), gaze e liga de borracha para cobrir a extremidade inferior do anel (b), saturação das amostras para obtenção da massa saturada (c), secagem em estufa (d), resfriamento em dessecador (e) e pesagem da massa seca do solo (f).....	49
Figura 17 - Coleta de amostras indeformadas das camadas de 0-20 (a) e 20-40 cm (b), peneiramento para obtenção de agregados na peneira de 4 mm (c), pesagem dos agregados (d) da triplicata (e) para peneiramento em água (f), transferência dos solos retidos nas peneiras para formas de alumínio para posterior secagem em estufa (g), distribuição das amostras nas peneiras após peneiramento em água (h).....	50
Figura 18 - Demarcação dos quadrados (a), (b) e (c), e coleta das raízes de <i>Panicum maximum</i> Cv. Mombaça nas camadas de 0-20 (d) e 20-40 (e) cm, em Latossolo após aplicação de resíduos agroindustriais da Amazônia.	52
Figura 19 - Lavagem (a), (b) e (c), e pesagem (d) de massa seca de raízes de <i>Panicum maximum</i> Cv. Mombaça, cultivado em Latossolo após aplicação de resíduos agroindustriais da Amazônia.	53
Figura 20 - Coleta dos dados biométricos de altura (a) e diâmetro do colmo (b) de <i>Panicum maximum</i> Cv. Mombaça, cultivado em Latossolo após aplicação de resíduos agroindustriais da Amazônia.....	54
Figura 21 - Lâminas foliares verdes (a), senescentes (b) e mortas (c) de <i>Panicum maximum</i> Cv. Mombaça, cultivado em Latossolo após aplicação de resíduos agroindustriais da Amazônia.	54
Figura 22 - Folhas (a) e colmos (b) coletados para obtenção de suas respectivas massas seca (c) e (d) de <i>Panicum maximum</i> Cv. Mombaça, cultivado em Latossolo após aplicação de resíduos agroindustriais da Amazônia.....	55
Figura 23 - Porosidade total do solo em função dos resíduos agroindustriais (a) incorporados ou não (b) em um Latossolo cultivado com <i>Panicum maximum</i> Cv. Mombaça.	60
Figura 24 - Índice de estabilidade de agregados (IEA) em função da aplicação de resíduos agroindustriais em um Latossolo cultivado com <i>Panicum maximum</i> Cv. Mombaça.....	63
Figura 25 - Massa seca da folha (MSF) (a), massa seca do colmo (b) e relação folha/colmo (c) em função dos resíduos agroindustriais em função da aplicação de resíduos agroindustriais em um Latossolo cultivado com <i>Panicum maximum</i> Cv. Mombaça	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise química dos resíduos agroindustriais	37
Tabela 2 - Caracterização física dos resíduos agroindustriais a partir da determinação da Ug, Ds e Pt.....	37
Tabela 3 - Caracterização física dos resíduos agroindustriais a partir da determinação granulométrica.....	39
Tabela 4 - Análise química do solo, na profundidade 0-20 e 20-40 cm, área experimental IFAP/Campus Agrícola Porto Grande, Amapá, Brasil.....	40
Tabela 5 - Análise granulométrica do solo, na profundidade 0-20 e 20-40 cm, área experimental IFAP/Campus Agrícola Porto Grande, Amapá, Brasil.....	40
Tabela 6 - Análise química do solo, por tratamento, na profundidade 0-20 e 20-40 cm, área experimental IFAP/Campus Agrícola Porto Grande, Amapá, Brasil.....	42
Tabela 7 - Análise granulométrica do solo, por tratamento, na profundidade 0-20 e 20-40 cm, área experimental IFAP/Campus Agrícola Porto Grande, Amapá, Brasil.	43
Tabela 8 - Análise de variância para umidade gravimétrica (Ug), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), diâmetro médio ponderado (DMP), índice de estabilidade de agregados (IEA) e densidade de massa radicular (DMR) nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade de um Latossolo Amarelo cultivado com capim Mombaça após aplicação (com e sem incorporação) de resíduos agroindustriais da Amazônia. Porto Grande, Amapá, Brasil..	56
Tabela 9 - Análise de variância para altura da touceira (AT), diâmetro do colmo (DC), número de perfilhos (NP), número de folhas verdes (NFV), número de folhas senescentes (NFS), número de folhas mortas (NFM), massa seca das folhas (MSF), massa seca do colmo (MSC) e relação folha/colmo (F/C) de capim Mombaça cultivado em Latossolo Amarelo após aplicação (com e sem incorporação) de resíduos agroindustriais da Amazônia, Porto Grande, Amapá, Brasil.....	57
Tabela 10 - Média \pm desvio padrão dos atributos físicos, umidade gravimétrica (Ug), densidade do solo (Ds) e porosidade total (Pt), nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade de um Latossolo Amarelo cultivado com capim Mombaça após aplicação (com e sem incorporação) de resíduos agroindustriais da Amazônia. Porto Grande, Amapá, Brasil.....	58
Tabela 11 - Média \pm desvio padrão dos atributos físicos diâmetro médio ponderado (DMP) e índice de estabilidade de agregados (IEA) nas camadas de 0-20 e 20-40 cm em Latossolo Amarelo do cerrado amapaense cultivado com capim Mombaça após aplicação (com e sem	

incorporação) de resíduos agroindustriais da Amazônia, na fazenda experimental do IFAP, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.....	62
Tabela 12 - Média \pm desvio padrão da densidade de massa radicular de capim Mombaça nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade de um Latossolo Amarelo após aplicação (com e sem incorporação) de resíduos agroindustriais da Amazônia, Porto Grande, Amapá, Brasil..	65
Tabela 13 - Média \pm desvio padrão da altura, diâmetro do colmo (DC), número de perfilhos (NP) de capim Mombaça cultivado em Latossolo Amarelo do cerrado amapaense após aplicação (com e sem incorporação) de resíduos agroindustriais da Amazônia, na fazenda experimental do IFAP, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.	68
Tabela 14 - Média \pm desvio padrão do número de folhas verdes (NFV), senescentes (NFS) e mortas (NFM) de capim Mombaça cultivado em Latossolo Amarelo do cerrado amapaense após aplicação (com e sem incorporação) de resíduos agroindustriais da Amazônia, na fazenda experimental do IFAP, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.	70

LISTA DE SIGLAS

CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
IFAP	Instituto Federal do Amapá
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
DEFLO	Departamento de Reflorestamento e Recuperação de Áreas Degradadas
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
ABC+	Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária, com vistas ao Desenvolvimento Sustentável (2020-2030)
GEE	Gases do efeito estufa
PNCPD	Programa Nacional de Pastagens Degradadas em Sistemas de Produção Agropecuários e Florestais Sustentáveis
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
SFS	Superfosfato simples
KCl	Cloreto de potássio
DBC	Delineamento em blocos casualizados
PRNT	Poder Relativo de Neutralização Total
Ds	Densidade do solo
Pt	Porosidade total do solo
Ug	Umidade gravimétrica
DMP	Diâmetro médio ponderado
IEA	Índice de estabilidade de agregados
DMR	Densidade de massa radicular
AT	Altura da touceira
DC	Diâmetro do colmo
MSF	Massa seca da folha
MSC	Massa seca do colmo
NP	Número de perfilhos
F/C	Relação folha/colmo
Ca	Cálcio

Mg	Magnésio
K	Potássio
P	Fósforo
N	Nitrogênio
C	Carbono
C/N	Relação nitrogênio/carbono

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
2 OBJETIVOS.....	20
2.1 Geral.....	20
2.2 Específicos.....	20
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	21
3.1 Manejo e atributos físicos do solo.....	21
3.2 Panorama da conservação das pastagens.....	24
3.3 Potencialidades e limitações do cerrado amapaense.....	26
3.4 Aplicação de resíduos agroindustriais em sistemas de manejo para uso eficiente e sustentável do solo.....	27
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4.1 Descrição e histórico da área de estudo.....	31
4.2 Delineamento experimental.....	33
4.3 Preparo, caracterização e aplicação dos resíduos agroindustriais.....	34
4.4 Caracterização química e granulométrica do solo.....	39
4.5 Preparo do solo e propagação da forrageira.....	43
4.6 Avaliação física do solo.....	45
4.6.1 Umidade do solo	47
4.6.2 Porosidade total do solo	47
4.6.3 Densidade do solo	48
4.6.4 Diâmetro médio ponderado	49
4.6.5 Índice de estabilidade de agregados.....	51
4.7 Avaliação da distribuição radicular.....	51
4.8 Análises biométricas e de produção.....	53
4.8.1 Variáveis de crescimento	53
4.8.2 Variáveis de produção	54
4.9 Análise estatística.....	55
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
5.1 Atributos físicos do solo.....	57
5.2 Distribuição radicular.....	64
5.3 Crescimento do capim Mombaça.....	66

5.4 Produção de matéria seca do capim Mombaça.....	70
6 CONCLUSÕES.....	72
REFERÊNCIAS.....	74

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade agrícola na Amazônia depende cada vez mais de práticas de manejo do solo que promovam o uso eficiente desse recurso. Assim, a conservação dos atributos físicos do solo é fundamental para prevenção e redução da degradação desse recurso natural, considerado lentamente renovável. Portanto, é recomendada a adoção de práticas que visem a qualidade dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Lima; Kaiser, 2023; Brady; Weil, 2013; De Maria *et al.*, 2019).

A ausência de manejo adequado e o uso intensivo do solo torna-o mais susceptível à degradação, como a compactação e erosão. Os principais fatores de degradação do solo são de origem antrópica, como o desmatamento, superpastejo, remoção da cobertura vegetal e uso intensivo de máquinas, todavia algumas condições naturais também são consideradas como fatores facilitadores e causadores de degradação, como a topografia, textura do solo, cobertura vegetal, chuvas, alagamentos e ventos (Guerra; Jorge, 2018).

Portanto, o manejo do solo através das práticas conservacionistas é fundamental para garantir a qualidade do solo, uma vez que protegem a sua superfície da ação dos agentes erosivos, incrementam matéria orgânica, aumentam a infiltração e retenção de água no solo, conferindo melhorias na porosidade e densidade do solo, ou seja, em seus atributos físicos e, conseqüentemente, nos atributos químicos e biológicos culminando no aumento do potencial produtivo e a sustentabilidade dos sistemas de cultivo.

As Poaceae são eficazes na cobertura, estruturação e agregação do solo, em virtude da vantajosa produção de biomassa vegetal, tanto na parte aérea quanto radicular. O capim *Panicum maximum* cv. Mombaça é uma das cultivares de forrageiras mais utilizadas no Brasil, devido ao elevado valor nutritivo, alta produção de biomassa, fácil multiplicação via sementes e adaptação a solos de média fertilidade, que conferem melhorias na conservação das pastagens e supre a demanda da pecuária leiteira e de corte (Gomide *et al.*, 2016; Catânio *et al.*, 2021). No Brasil, os bovinos constituem o segundo maior rebanho na pecuária, com 224,6 milhões de cabeças (Brasil, 2022), enquanto no Amapá o efetivo de rebanhos corresponde a 223.893 e 36.481 cabeças de bubalinos e bovinos, respectivamente (IBGE, 2017). Assim, o Mombaça pode ser uma alternativa para substituir as pastagens naturais e degradadas do Norte do Brasil, tendo em vista o grande potencial dessa região para a atividade agropecuária.

A realização de manejo adequado nas pastagens mantém uma cobertura vegetal eficiente na superfície do solo, controlando as alterações dos atributos físicos desse recurso (Dias Filho;

Lopes, 2019). Além disso, as raízes atuam na ligação de microagregados, por meio de seus pelos radiculares e também da liberação de exsudados na rizosfera, que favorecem a proliferação de microrganismos responsáveis pela liberação de outras substâncias ligantes (Lima; Kaiser, 2023).

Paralelo à necessidade de conservar e melhorar os atributos do solo, o processamento de produtos do setor primário gera um desafio: destinar a grande quantidade de resíduos de forma adequada, visando seu aproveitamento (Sato *et al.*, 2020). Contudo, é fundamental seguir as medidas previstas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, a fim de reduzir os possíveis danos à saúde humana e ao meio ambiente (Brasil, 2010). A cadeia agroflorestal produz grande quantidade de resíduos agroindustriais, tanto na exploração dos frutos de açaí, castanha-da-amazônia, mandioca, abacaxi, laranja, quanto no processamento industrial da madeira, devido ao baixo rendimento operacional desses resíduos, em geral, dificilmente são aproveitados, em virtude da escassez de estudos a respeito do reaproveitamento desses resíduos e, conseqüentemente, falta de tecnologias (Miranda *et al.*, 2022; Ramos, 2016).

Esses resíduos podem ser utilizados como alternativas para incremento de matéria orgânica nos solos, especialmente em solos amazônicos, como os Latossolos altamente intemperizados, uma vez que estudos têm evidenciado que a adição de biocarvão de caroço de açaí ao solo promove melhorias no movimento e retenção de água, além de maior estabilidade de agregados nos maiores diâmetros (Costa, 2021a; Sato, 2018), assim como resíduos de madeira favorecem a redução da densidade, o aumento da porosidade total e do carbono orgânico total no solo (Monteiro *et al.*, 2006; Enara; Tenkegna; Asfaw, 2019). Em relação à produção de espécies forrageiras, a adição de biocarvão proveniente de resíduos também tem proporcionado ganhos produtivos por meio de incrementos significativos na produção de massa seca (Oliveira, 2023; Pacheco, 2022, Santos Júnior *et al.*, 2022).

No município de Porto Grande/AP, dentre os principais resíduos em decorrência do agroprocessamento, destacam-se a serragem e caroço de açaí. Todavia, estudos acerca do uso de resíduos agroindustriais da Amazônia, associado aos atributos físicos do solo ainda são bastante incipientes. Dessa forma, é imprescindível um estudo aprofundado sobre as implicações que as aplicações dos resíduos agroindustriais conferem ao solo e, conseqüentemente, à produtividade agrícola, a fim de direcionar recomendações de manejo eficiente e sustentável do solo.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o efeito da aplicação (com e sem incorporação) de resíduos agroindustriais da Amazônia sobre os indicadores de qualidade física do solo e a produção de capim Mombaça, cultivado em Latossolo Amarelo de cerrado amapaense.

2.2 Específicos

- Caracterizar a composição química e física dos resíduos agroindustriais da Amazônia;
- Quantificar as partículas de argila, silte e areia, bem como determinar a classe textural do solo;
- Caracterizar a composição química do solo;
- Determinar os atributos físicos do solo, como: a umidade gravimétrica, a densidade, a porosidade total, o índice de estabilidade de agregados e o diâmetro médio ponderado, após a aplicação (com e sem incorporação) dos resíduos agroindustriais da Amazônia;
- Avaliar a distribuição radicular, por meio da determinação da densidade de massa radicular do capim Mombaça, após a aplicação (com e sem incorporação) dos resíduos agroindustriais da Amazônia;
- Determinar os parâmetros de crescimento e produção do capim Mombaça, como: altura da touceira, diâmetro do colmo, número de perfilhos, número de folhas mortas, senescentes e vivas; relação folha/colmo e matéria seca da parte aérea do capim Mombaça, após a aplicação (com e sem incorporação) dos resíduos agroindustriais da Amazônia.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Manejo e atributos físicos do solo

O conceito de solo varia de acordo com o seu objetivo/finalidade de uso, portanto varia conforme o ramo do conhecimento ou atividade profissional aplicada. Para as ciências agrárias, de modo geral, é o meio que fornece sustentação, água e nutrientes para o desenvolvimento da produção vegetal de interesse agrônomo/econômico (Kämpf; Curi, 2012). Todavia, dentre as outras definições/funções do solo destaca-se a capacidade do tamponamento de mudanças climáticas, uma vez que o solo é considerado um agente modificador da atmosfera (Brady; Weil, 2013).

Os estudos realizados para estimar a qualidade do solo necessitam de uma ampla avaliação tanto das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, como também das características das plantas. Dentre as principais propriedades físicas utilizadas como indicadoras, estão: densidade, porosidade, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, água disponível, estabilidade de agregados e resistência à penetração do solo (Vogelmann; Braida; Drescher, 2023).

Diferentes tipos de degradação atingem cerca de 40% dos solos do mundo (UNCCD, 2022). De acordo com Salomão *et al.* (2020), as atividades humanas são as que mais colaboram e que causam degradação dos solos, dentre elas o manejo inadequado das lavouras e pastagens em áreas agrícolas, provocando degradação generalizada do solo, ou seja, afetando atributos físicos, químicos e biológicos.

As características e propriedades físicas do solo influenciam diretamente a melhor forma de manejá-lo, onde o último sofre bastante influência das práticas de manejo, dessa forma é fundamental entender os seus comportamentos. A textura do solo, proporção dos diferentes tamanhos de partículas minerais existentes nele, é uma característica, e, portanto, normalmente, as práticas de manejo não conseguem alterá-la. Solos argilosos requerem maior cuidado durante o preparo, onde a trafegabilidade e operações devem ser realizadas quando o teor de umidade do solo estiver friável para diminuir a degradação da estrutura do solo e compactação, como o pé de arado. Enquanto, os solos arenosos, requerem incremento de matéria orgânica para estímulo de formação e estabilização de agregados (Brady; Weil, 2013).

A estrutura dos solos refere-se à organização e arranjo de partículas resultantes da interação entre minerais (areia, silte e argila) e matéria orgânica. Essa propriedade varia em

função do tempo e das práticas de manejo adotadas. A agregação do solo é uma das principais formas de avaliar a sua estrutura, tendo em vista que resulta na obtenção de dados sobre a estabilidade de agregados, que são fundamentais na estruturação do solo, assim como também na aeração, infiltração da água, retenção de água e de nutrientes e desenvolvimento de raízes no solo (EMBRAPA, 2017). A formação e estabilização dos agregados dependem de processos físico-químicos e biológicos, a exemplo da influência das argilas e crescimento de raízes, respectivamente. Por isso, em solos arenosos a agregação é fortemente dependente dos processos biológicos (Lima; Kaiser, 2023).

A porosidade do solo também é uma propriedade fundamental para diversas funções do solo, dentre elas: armazenar água, drenagem, aeração e habitat de organismos e raízes (Michelon *et al*, 2023). A porosidade total é a fração do volume total do solo em um determinado volume de solo capaz de ser preenchido por água e/ou ar. Também é uma propriedade bastante influenciada pelo manejo do solo, com valores variando entre menos de 25% em camadas subsuperficiais degradadas por compactação, até mais de 60% em camadas superficiais bem agregadas (Brady; Weil, 2013).

A densidade do solo visa medir a densidade média a partir da massa por unidade de volume de solo seco, ou seja, inclui tanto as partículas sólidas quanto o espaço poroso do solo. Os fatores que afetam a densidade do solo são a textura do solo, normalmente solos argilosos possuem menor densidade em relação aos arenosos, e a profundidade no perfil do solo, geralmente a densidade tende a aumentar conforme aumenta a profundidade do perfil. Todavia, práticas de manejo também influenciam a densidade do solo, a exemplo do uso e movimentação intensiva para cultivos, que a longo prazo degradam a estrutura do solo, diminuem a matéria orgânica e podem ocasionar a compactação, inibindo o crescimento radicular, reduzindo a aeração do solo e alterando o fluxo de nutrientes de água, o que resulta na diminuição da capacidade produtiva do solo (Michelon *et al*, 2023)

As propriedades citadas anteriormente influenciam diretamente na capacidade do solo reter e conduzir água. O teor de umidade do solo também varia de acordo com a matéria orgânica, a textura, geralmente, solos argilosos retêm muito mais água quando comparado com solos de textura franca ou arenosa, e também, com a estrutura do solo, assim um logo com boa agregação tem um maior número de poros total e conseqüentemente maior capacidade de reter água, que solos degradados (Kaiser; Silva, 2023).

Dessa forma, deve-se priorizar no manejo práticas que minimizem os efeitos negativos do cultivo, pois embora as operações de preparo do solo inicialmente possam apresentar

benefícios para o cultivo, a movimentação do solo a longo prazo pode causar o aumento da densidade e degradação da estrutura do solo, em função da perda por oxidação da matéria orgânica (Brady; Weil, 2013).

Assim, práticas como revolvimento mínimo do solo, redução do número de operações de preparo do solo com aração, gradagem e enxada rotativa, além de adição de resíduos de culturas, adubos orgânicos e condicionadores, rotação dos sistemas com pastagens, que possuem intenso enraizamento no solo e favorece a estabilização de agregados, bem como a manutenção da matéria orgânica por meio das raízes finas, além de produzir grande quantidade de biomassa aérea que auxilia na cobertura do solo, contribuem para a estabilidade da produção e manutenção da qualidade do solo (Lima; Kaiser, 2023).

O sistema radicular das plantas possui uma relação intrínseca com a condição física do solo, uma vez que nas raízes ocorrem alguns dos principais processos físicos e metabólicos, responsáveis pelo funcionamento da planta (Fidalski *et al.*, 2007; Testezlaf *et al.*, 2007), bem como atuam como agentes ligantes de microagregados do solo. As Poaceae, além de proporcionarem maior cobertura e conseqüentemente proteção ao solo em superfície, também possuem sistema radicular densamente distribuído no solo que colaboram para a agregação e estruturação do solo, contribuindo significativamente para a conservação desse recurso.

Em estudo sobre a produção média de raízes, observou-se que a produção de massa seca de raízes das Poaceae foi 1,6 vezes maior que das Fabaceae, 1.365 e 858 kg/ha, respectivamente, evidenciando a importância das espécies dessa família na incorporação de carbono ao solo, por meio do seu sistema radicular (Redin *et al.*, 2016). Todavia, estudos acerca do crescimento e da distribuição de raízes no perfil, associado aos atributos físicos do solo ainda são bastante incipientes, contudo, são fundamentais para compreensão das implicações da adoção de novos sistemas de preparo e manejo do solo para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (Barbosa, 2011).

Diante disso, é necessário ampliar o conhecimento do comportamento de suas propriedades, funções e potencialidades diante dos manejos empregados. A compreensão e estimativa dos atributos físicos do solo, bem como suas interações com culturas em sistemas agrícolas sob a influência de diferentes manejos (Vogelmann; Braidá; Drescher, 2023), são fundamentais para avaliar o potencial da adoção de práticas alternativas de manejo, possibilitando direcionar recomendações de manejo eficiente e sustentável para o uso do solo.

3.2 Panorama da conservação das pastagens

As pastagens são a base da atividade pecuária leiteira e de corte em vários países do mundo, incluindo o Brasil, onde as pastagens encontram-se predominantemente no cerrado (Borghini *et al.*, 2018). Além disso, quando bem manejadas são fundamentais para a manutenção da qualidade do solo e mitigação das mudanças climáticas, uma vez que favorecem a ciclagem de nutrientes via palhada, aumentam a matéria orgânica do solo, garantem habitat para a biodiversidade, filtram e retêm a água no solo e recarregam bacias hidrográficas, em virtude da manutenção da cobertura vegetal, que auxilia a minimizar a erosão do solo, escoamento superficial e compactação do solo (Pedreira; Sollenberger, 2020).

As pastagens naturais ou cultivadas constituem 45% da área total dos estabelecimentos rurais do Brasil (IBGE, 2018a). Contudo, aproximadamente 50% das pastagens do país encontram-se em algum estágio de degradação (Dias Filho, 2014). Ainda segundo Dias Filho (2014), apesar de o Brasil possuir condições climáticas e extensão territorial favoráveis para produção e fornecimento de forragem, as pastagens foram formadas e manejadas com baixo investimento no uso de tecnologia e de insumos o que, conseqüentemente, causou a alta incidência de pastagens degradadas e o estigma de uma atividade improdutiva e danosa ao meio ambiente, tendo em vista que o manejo inadequado das pastagens também provoca a degradação generalizada da qualidade do solo, sobretudo, pela erosão (Brady; Weil, 2013).

Os principais fatores que culminam a degradação das pastagens podem atuar de forma isolada ou em conjunto, sendo: preparo inadequado do solo, escolha incorreta da espécie forrageira, uso de sementes de baixa qualidade, manejo inadequado, além da ausência de reposição dos nutrientes perdidos no processo produtivo, erosão, lixiviação e volatilização, resultando em processo evolutivo de perda de vigor, que impossibilita a recuperação natural da pastagem (Carvalho *et al.*, 2017).

Assim, para minimizar efeitos danosos em virtude da ausência temporária inicial de cobertura vegetal e do preparo mecânico, deve-se priorizar um manejo que vise a imediata e eficiente cobertura do solo pela forrageira, utilizando sementes certificadas, taxa de semeadura e plantio na profundidade correta e mobilização do solo numa intensidade que proporcione um preparo adequado aliado a sua conservação, além disso, para formação de pastagens deve-se priorizar áreas anteriormente manejadas com pecuária ou lavoura que encontram-se abandonadas ou subutilizadas (Dias Filho; Lopes, 2019), dessa forma é possível restaurar a

qualidade dos solos que já possuem algum nível de degradação e/ou evitar a degradação do solo e da pastagem recém implantada.

Os principais gêneros de Poaceae utilizados na formação das pastagens são *Brachiaria* sp. e *Panicum* sp., em estudo sobre características agronômicas e diagnóstico do sistema radicular de diferentes cultivares de ambos os gêneros, a cultivar Mombaça apresentou valores elevados de volume e área superficial radicular quando comparada com as demais (Silva *et al.*, 2020), o que favorece a exploração de um maior volume de solo, contribuindo para a absorção de água e nutrientes pela planta, além de melhorar a estruturação e agregação do solo.

A espécie *Panicum maximum* cv. Mombaça é uma Poaceae perene tropical, que possui alto valor nutricional, sendo uma das forrageiras mais utilizadas na alimentação animal para produção de leite e corte no Brasil (Gomide *et al.*, 2016). Além disso, possui alta produtividade, qualidade e adaptação a diferentes condições edafoclimáticas (Euclides, 2014), bem como boa produção e qualidade de biomassa, favorecendo ganhos produtivos e também a conservação do solo (Catânio *et al.*, 2021).

A área usada para a atividade agropecuária no estado do Amapá é de 1.506.294 hectares, correspondendo a 62% (930 mil hectares) matas e florestas, 30% (449 mil hectares) pastagens e 8% (64 mil hectares) lavoura (IBGE, 2017), onde as áreas de pastagem natural sobressaem-se as de pastagens plantadas (Dias Filho, 2014). Além disso, um levantamento realizado pelo Departamento de Reflorestamento e Recuperação de Áreas Degradadas (DEFLO) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), nos 16 municípios do Amapá classificou um total de área de pastagem de 30,4 mil hectares, desse total 17,2 mil hectares não apresentam degradação, enquanto 8,1 e 5,0 mil hectares encontram-se moderadamente e severamente degradados, respectivamente (Brasil, 2024b).

Atualmente, diversas políticas públicas têm sido criadas para incentivar a conservação das pastagens, dentre elas destacam-se o Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária, com vistas ao Desenvolvimento Sustentável (2020-2030) (ABC+), uma política pública que preconiza práticas agropecuárias e florestais mais eficientes compostas por um conjunto de ações que visam aumentar o uso de tecnologias agrícolas sustentáveis com alto potencial de mitigação de emissão de gases do efeito estufa (GEE) e combate ao aquecimento global, contemplados em sete programas, que promovem a restauração dos solos degradados, melhoram a produção agrícola, reduzem a poluição, minimizam a erosão e o escoamento de nutrientes, aumentam a atividade microbiana e a biodiversidade do solo (Brasil, 2021; Nobre, Oliveira, 2018).

Dentre os programas do ABC+, destaca-se o Programa Nacional de Pastagens Degradadas em Sistemas de Produção Agropecuários e Florestais Sustentáveis (PNCPD, instituído em 2023, que visa promover e coordenar políticas públicas voltadas à transformação de pastagens degradadas em sistemas de produção agropecuária e florestal sustentáveis, que resultem em uma maior captura de carbono e eleve os patamares de produtividade, contribuindo para a segurança alimentar e o aumento da resiliência climática (Brasil, 2023).

O PNCPD, além de ser um programa de incentivo à recuperação de pastagens degradadas, poderá ter um impacto na conservação de solos e água comparável com o plantio direto, uma vez que ao recuperar um dos fatores que caracteriza uma área degradada que é a cobertura vegetal, onde sua ausência ou manejo inadequado compromete os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, recupera a qualidade do solo, tornando-o fértil e reduzindo drasticamente a erosão do solo (Brasil, 2024a).

É notório que a degradação das pastagens gera prejuízos ambientais, econômicos e sociais, em contrapartida as práticas conservacionistas e manejo adequado das pastagens garantem uma agropecuária sustentável, suprem a demanda crescente de alimentos e mitigam os danos das mudanças climáticas. Diante disso, é fundamental priorizar a recuperação de pastagens que já estejam degradadas, mas também prevenir a degradação durante a implantação em novas áreas, o que promove a longevidade das pastagens, proteção do solo e da água, aumento dos teores de matéria orgânica do solo e no sequestro de carbono, resultando na redução da emissão de gases poluentes (Zimmer *et al.*, 2012).

3.3 Potencialidades e limitações do cerrado amapaense

Na região Amazônica, devido à elevada heterogeneidade e complexidade dos ecossistemas, em virtude de condições edafoclimáticas, além da exuberante vegetação amazônica, também há grandes áreas de vegetação abertas (cerrados) e de transição entre biomas Cerrado e Amazônia (ecótono) (Consentine; Marinho, 2018; Castro, 1981).

No Amapá o cerrado possui uma extensão territorial de cerca de 903.200 hectares, correspondendo a 9,25% da superfície do Estado (Mélem Júnior; Farias Neto; Yokomizo; 2003), abrangendo os municípios de Macapá, Calçoene, Santana, Porto Grande, Itaupal e Tartarugalzinho. Ainda segundo os autores, a área do cerrado amapaense destaca-se pela sua localização geográfica estratégica, em virtude de sua maior proximidade com mercados importadores, o que permite redução de custos na logística. Além disso, possui condições

ecológicas favoráveis ao desenvolvimento do agronegócio sustentável, como Agricultura de Baixo Carbono, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, Sistemas Agroflorestais e outros (Castro; Alves, 2013).

Ainda de acordo com Castro e Alves (2013), dentre as principais características climáticas do Amapá, destaca-se o fato de ser um dos Estados com maior índice de precipitação pluviométrica do país, assim como as altas temperaturas, esses fatores culminam em condições favoráveis que geram a possibilidade de mais de uma safra agrícola no ano. Diante dessas diversas vantagens observa-se o elevado potencial para a produção de grãos, silvicultura, bem como agropecuária no cerrado do Amapá, em comparação com as regiões centro-oeste, sudeste e sul do país.

Venturieri *et al.* (2017), ao mapearem os solos do cerrado amapaense observaram a predominância da classe de solo Latossolo Amarelo Distrófico, correspondendo a cerca de 37,2% desse bioma no estado, onde o clima quente e úmido, característico da região Amazônia, ocasiona a baixa fertilidade natural dos solos, em virtude do intenso intemperismo e lixiviação da sílica e de cátions básicos, como o Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} , dessa forma poucos íons são mantidos adsorvidos aos colóides, além disso o acúmulo residual de óxidos e caulinita também contribuem para a baixa capacidade de troca catiônica do solo.

Em geral, são solos profundos, bem drenados, que apresentam boas propriedades físicas com textura média ou média-argilosa, 17,80% ocorrem em áreas de relevo predominantemente plano, sendo menos suscetíveis a erosão e, portanto, possuem ausência de impedimentos ao preparo mecanizado da área, apresentando boa aptidão para a agricultura; 10,27% apresentam aptidão regular para a agricultura, estes apresentam algumas limitações, em função da maior suscetibilidade a degradação desses solos, sendo necessário mínimo uso de maquinários e emprego mais massivo de tecnologias adequadas para o manejo e conservação; e 5,15% apresentam boa aptidão para a pecuária, em virtude da restrição para uso com lavouras, uma vez que estes solos são ainda mais suscetível à degradação, quando comparado com a classe de aptidão anterior (Venturieri *et al.*, 2017).

3.4 Aplicação de resíduos agroindustriais em sistemas de manejo para uso eficiente e sustentável do solo

Inicialmente, é necessário discernir o conceito de resíduo, bem como de subproduto, tendo em vista que são muitas vezes tratados como sinônimos. Embora, ambos sejam materiais

gerados secundariamente em um processo de produção agrícola, florestal e/ou industrial, o que distingue estes é a existência ou ausência de um mercado definido para sua comercialização. Assim, quando os produtos secundários são demandados pelo mercado e apresentam um valor de comercialização definido são chamados de subprodutos, enquanto aqueles que não possuem potencial mercadológico ou do qual o potencial não é efetivamente explorado são denominados de resíduos (Burgi, 1986).

Dentre os resíduos mais gerados durante o processamento industrial de produtos agrícolas e florestais a nível nacional, destacam-se a palha, o melaço e o bagaço de cana-de-açúcar, a palha, caule, folhas e farelo de milho, caules e farelo da casca da raiz da mandioca, palha e farinha de trigo, palha e casca do arroz, casca, membranas e sementes de culturas cítricas, cascas de coco e serragem de madeira, a partir de estudos é possível avaliar qual o fim mais adequado para cada resíduo, que varia entre produção de energia, alimentação animal e condicionador de solo, auxiliando na redução de custos de produção e agregando valor ao processo produtivo (Ferreira Leitão *et al.*, 2010).

Na região Norte, em especial no Amapá, dentre os principais resíduos agroindustriais gerados, está o caroço de açaí. O endocarpo e amêndoa do fruto do açaí, mais conhecido como caroço, constitui aproximadamente 83% do fruto e é um material orgânico rico em carbono, cerca de 50,62%, e possui lenta decomposição, em virtude do alto teor de lignina (Pessoa; Teixeira, 2012).

Em 2022, a quantidade de frutos de açaí produzidos na região Norte foi de 228.182 toneladas, onde a contribuição do Amapá correspondeu a 3.298 toneladas, deste total o resíduo de caroço de açaí é de cerca de 189.391,06 toneladas (IBGE, 2022). Segundo Miranda *et al.*, 2022, em um estudo realizado em 2017 com 901 batedeiras de açaí localizadas nas áreas urbanas dos municípios de Macapá e Santana, visando identificar os destinos finais dos caroços de açaí, observou-se que 24.455 kg de caroço de açaí são descartados diariamente em ambos os municípios, do qual 11.580 kg/dia são destinados para olarias, 4.050 kg/dia descartados em lagos, ressacas e terrenos baldios, 3.085 kg/dia descartados em lixões a céu aberto ou aterros controlados, 1.600 kg/dia utilizados como adubo e 4.140 kg/dia tem destinação desconhecida.

Outro resíduo gerado em grande quantidade é a serragem, proveniente da atividade florestal/madeireira, em 2022 a quantidade produzida de madeira de tora e lenha na região Norte foi de 4.755.354 m³, onde a contribuição do Amapá foi de 1.048.954 m³ de madeira de tora (IBGE, 2022). O maior município produtor de madeira de tora do Estado é Porto Grande, com

produção de 152.708 m³ em 2017, além de ser o 15^a município brasileiro produtor de madeira em tora do País (IBGE, 2018b).

Segundo Figueira (2019), dentre as espécies comerciais mais utilizadas nas serrarias de Porto Grande, destacam-se maçaranduba (*Manilkara huberi*), e angelim vermelho (*Dinizia excelsa*), onde os resíduos da produção, como lenha e serragem, de todas as serrarias entrevistadas não possuem destinação dos resíduos e também não são aproveitados por 57% dos madeireiros, que destacam a necessidade e expectativa de políticas públicas que busquem realizar estudos em relação ao aproveitamento e redução de resíduos da madeira, pois em geral, a serragem é armazenada no pátio, exposta a céu aberto e sem aproveitamento específico ou é destinada à queima.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída através da lei n. 12305/2010, define que os resíduos necessitam de destinação final ambientalmente adequada, por meio da reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e/ou aproveitamento energético, por exemplo, visando evitar danos e/ou riscos à saúde pública, bem como minimizando impactos ambientais adversos. Além disso, alguns dos princípios da PNRS são prevenção, precaução e desenvolvimento sustentável, que podem ser alcançados através de alguns instrumentos previstos nesta lei, como a pesquisa científica e tecnológica, bem como a cooperação técnica e financeira entre os entes público e privado para o desenvolvimento de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos (Brasil, 2010).

Assim, a partir de estratégias como a promoção da bioeconomia e economia circular é possível aprimorar a eficiência das cadeias de biomassa agroindustriais e florestais, gerando benefícios econômicos, sociais e ambientais ao aliar a obtenção de mais lucros à sustentabilidade de produtos e processos desses setores, uma vez que através da bioeconomia é possível fornecer subprodutos resultantes da conversão de resíduos (bioinsumos), gerando impactos na economia circular ao reduzir a geração de resíduos, através do aproveitamento de todos os resíduos gerados ao longo do processamento, ou seja, gerando novas cadeias de valor ao reintegrar os resíduos ao ciclo produtivo (Vaz Junior, 2020).

Os solos tropicais, devido a ocorrência elevada de intemperismo, clima quente e úmido, necessitam de práticas de manejo que auxiliam na reposição de matéria orgânica, visando melhorias nas propriedades físico-químicas e biológicas desses solos. Assim uma estratégia promissora é o biochar, material produzido através da pirólise de uma determinada biomassa, que é transformada em carvão, resultando em um subproduto rico em carbono, que quando

adicionado ao solo promove diversos benefícios ambientais e agronômicos devido sua estrutura químico-física, como área superficial, pH, concentrações de minerais e estocagem de carbono no solo (Ribeiro, 2020)

Em estudos com o aproveitamento de biomassa de diferentes Poaceae na produção de biochar, indicaram que a aplicação desse subproduto melhorou significativamente as propriedades físicas do solo arenoso testado, como densidade aparente e porosidade total, além de aumentar o teor de água disponível (Glab *et al.*, 2016). Obia *et al.* (2016), também obtiveram resultados satisfatórios com a aplicação de biochar de espiga de milho e de casca de arroz, que aumentaram a estabilidade de agregados em 7-9% e 17-20% quando adicionado em solo cultivado com milho e soja, também a porosidade total e a capacidade de água disponível aumentaram 2 e 3%, respectivamente. A aplicação de biocarvão de caroço de açaí influenciou positivamente a qualidade física de um o Latossolo Amarelo distrófico de textura franco arenosa, através de melhoria nas funções de movimento e retenção de água no solo, possibilitando maiores conteúdos de água residual e saturação, além de maior estabilidade de agregados nos maiores diâmetros (Costa, 2021a).

Monteiro *et al.* (2006), realizaram a aplicação de resíduos de madeira, sendo estes a lâmina triturada e o pó de serragem, em Argissolo Amarelo da Amazônia paraense, no qual favoreceu a redução da densidade, com valores entre 1,19 a 1,33 kg dm⁻³, e aumento da porosidade total, com valores entre 0,46 a 0,48 m³ m⁻³ nas camadas superficiais. A aplicação de composto de resíduos agroindustriais, contendo resíduos de processamento de vegetais, resíduos de matadouros, farinha de ossos e também serragem de fábricas de processamento de madeira, aumentou propriedades físicas do solo, como o conteúdo de água disponível, capacidade de campo e ponto de murcha permanente, além disso também promoveu aumento no carbono orgânico total no solo (Enara; Tenkegna; Asfaw, 2019).

Além da serragem de madeira, o caroço de açaí também demora a se decompor, em virtude do alto teor de lignocelulósicos, todavia liberam carbono ao longo de todo processo de decomposição (Teixeira; Pessoa, 2012), o que promove benefícios na agregação e estruturação do solo, através do aumento da matéria orgânica no solo. Todavia, estudos com aplicação desses resíduos visando avaliar o seu potencial como um subproduto condicionador de solo ainda são escassos.

Em relação a estudos visando avaliar os efeitos da aplicação de resíduos no solo, geralmente, as propriedades físicas do solo são menos pesquisadas do que as propriedades químicas (Ribeiro, 2020), gerando uma lacuna de conhecimentos acerca das possíveis

interferências nos atributos físicos do solo. Assim, é necessário contribuir com a ampliação do conhecimento quanto ao impacto do uso de resíduos agroindustriais da Amazônia nos atributos físicos do solo, como possíveis redução da densidade, melhoria na agregação, aumento da retenção de água, propiciando um meio favorável para o crescimento das raízes e, conseqüentemente, aumentando o desenvolvimento e o rendimento das culturas Glab *et al.*, 2016, uma vez que muitos estudos já evidenciam as melhorias na fertilidade do solo (Wani; Khan; Jeelani, 2017; Costa, 2021b; Oliveira, 2023).

Dessa forma, é possível contribuir para o cumprimento da agenda dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) no Brasil através da promoção de uma agropecuária sustentável, que contribui diretamente com o alcance da segurança alimentar (ODS 2); do consumo e produção sustentável, por meio do aproveitamento dos resíduos, reduzindo significativamente seu descarte (ODS 12); promovendo o uso sustentável do solo, ao prevenir e/ou recuperar áreas e solos degradados (ODS 15); e, conseqüentemente, mitigar as mudanças climáticas e seus impactos através destas práticas (ODS 13) (ONU Brasil, 2024).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição e histórico da área de estudo

O experimento foi conduzido no período de setembro/2023 a agosto/2024, em área do cerrado do município de Porto Grande, localizada na fazenda experimental no Instituto Federal do Amapá (IFAP), *Campus* Agrícola Porto Grande, latitude 0°41'49.87" N e longitude 51°23'22.25" O (Figura 1). O solo da área é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico (Santos *et al.*, 2018).

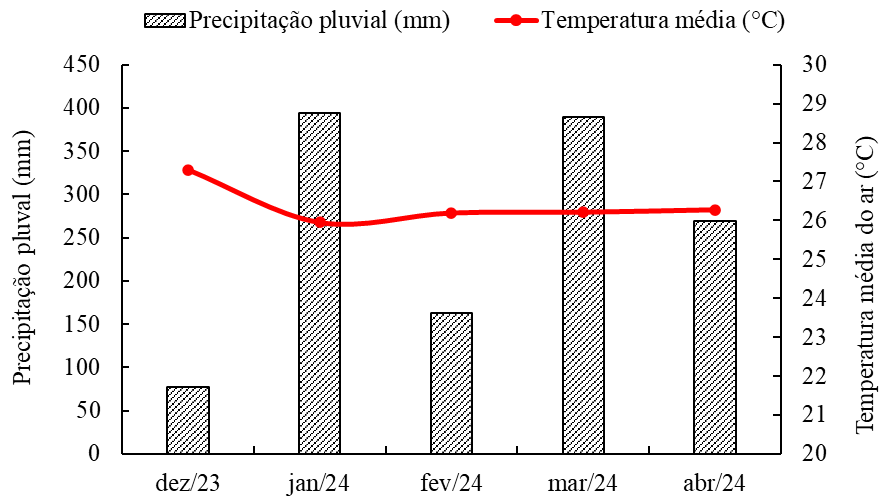
Figura 1 - Área experimental localizada no cerrado do município de Porto Grande, Instituto Federal do Amapá (IFAP), *Campus Agrícola Porto Grande*.



Fonte: Autora (2024).

O clima é tipo Am, tropical úmido, segundo classificação de Köppen, com duas estações bem definidas, verão e inverno, caracterizada por um regime de fotoperíodo constante, com médias anuais de 2.500 mm de precipitação e de 30 °C (mínima) e 36 °C (máxima) de temperatura. A precipitação pluvial (mm) mensal e a temperatura média do ar (°C) no município de Porto Grande/AP no período de condução do experimento estão apresentadas na Figura 2.

Figura 2 - Precipitação pluvial (mm) mensal e a temperatura média do ar (°C) no município de Porto Grande/AP no período de dezembro/2023 a abril/2024.



Fonte: INMET, adaptado pela autora (2024).

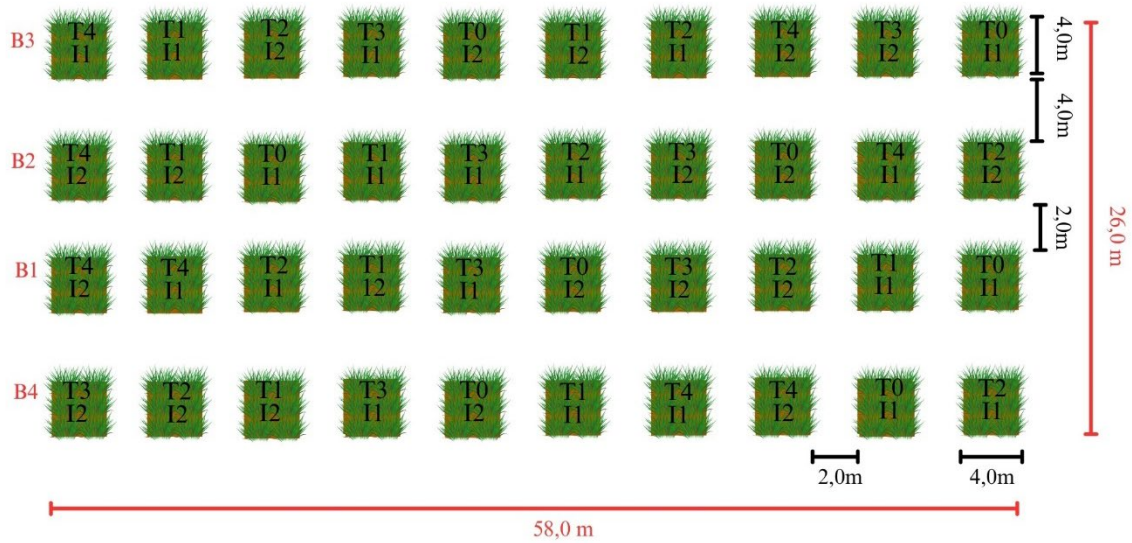
A área já tinha sido explorada com culturas de ciclo curto. Há cerca de seis anos a área estava em pousio, ocupada por vegetação invasora, principalmente Poaceae e acácia (Fabaceae). Em 2021, a área foi roçada com trator agrícola para supressão do crescimento da vegetação, após a secagem da vegetação restante, foi realizada uma gradagem na área com o objetivo de incorporação dos restos culturais e plantas invasoras ao solo.

No ano de 2023 foi realizada mais uma gradagem para evitar o avanço de espécies invasoras. Em maio de 2023, foi realizado o plantio de feijão-caupi, onde além da limpeza da área foi realizada uma adubação de base com superfosfato simples (SFS) e cloreto de potássio (KCl), sem a utilização de corretivo.

4.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), arranjado em esquema fatorial 5x2, com quatro repetições. Os fatores foram constituídos do tratamento controle (T0: sem aplicação de resíduos da agroindústria), além de quatro resíduos agroindustriais (T1: biochar de pó de serragem (*Manilkara huberi*), T2: biochar de caroço de açaí (*Euterpe spp.*), T3: pó de serragem de Maçaranduba e T4: caroço de açaí triturado); e dois modos de aplicação (I1: sem incorporação e I2: com incorporação). Foi utilizada uma espécie de capim (*Panicum maximum* cv. Mombaça). A área útil experimental compreendeu 640 m², com cada parcela medindo 16 m², na qual as touceiras das bordas foram consideradas como bordadura, a distância entre as parcelas foi de 2 m (Figura 3).

Figura 3 - Croqui da disposição dos tratamentos na área, conforme o delineamento experimental.



Fonte: Autora (2024).

4.3 Preparo, caracterização e aplicação dos resíduos agroindustriais

Os caroços de açaí e as serragens foram coletados de beneficiadora (batedeira) (Figura 4a) e serraria (Figura 4b), respectivamente, localizadas no município de Porto Grande/AP. Os resíduos de serragem e caroços de açaí foram acondicionados em bancadas para revolvimento (Figura 4c) e pré-secagem (Figura 4d), por uma semana. Em seguida os caroços de açaí foram triturados em triturador de facas (Figura 4e) para realizar a diminuição da granulometria e evitar a germinação. Após essa etapa, os caroços de açaí triturados e a serragem foram acondicionados em estufa de circulação forçada de ar, em temperatura média de 105 °C por 48h (Figura 4f).

Para a produção do biocarvão de serragem, estes foram embalados em papel alumínio (Figura 5a) e calcinados em mufla com a temperatura ajustada para 400 °C por 2h (Figura 5b), para a conversão termoquímica da biomassa através da pirólise (Figura 5c), conforme Dias *et al.* (2019); Araújo *et al.* (2021) e Oliveira (2017).

Figura 4 - Coleta (a) e (b), revolvimento (c), pré-secagem (d), trituração (e) e secagem em estufa (f) dos resíduos.



Fonte: Autora (2024).

Figura 5 - Pó de serragem de *Manilkara huberi* embalado em papel alumínio (a) e acondicionado em mufla (b) para produção (c) de biochar (d).



Fonte: Autora (2024).

A concentração aplicada de biochar do caroço de açaí e da serragem foi de 0,1% (Costa, 2021b; Oliveira, 2023), enquanto a concentração de serragem e caroço de açaí triturado foi de 1% (El Halim; El Baroudy, 2014), que corresponderam a 3,2 kg e 32 kg/parcela, respectivamente. A incorporação dos resíduos de caroço de açaí e serragem ao solo ocorreu

com o auxílio de grade aradora, portanto, foi realizada até a profundidade de 25 cm (camada arável), antes de realizar o semeio e adubação (Figura 6).

Figura 6 - Aplicação dos resíduos agroindustriais, pó de serragem (a), biochar de pó de serragem e caroço de açaí triturado (b), biochar de caroço de açaí (c) sem e com incorporação dos resíduos aplicados (d).



Fonte: Autora (2024).

As análises químicas (Tabela 1) foram realizadas no laboratório de Solos da Embrapa Amapá (Nogueira *et al*, 2005). Foram avaliadas as seguintes características físicas dos resíduos: densidade (D_s), porosidade total (PT) e umidade gravimétrica (Ug) (Tabela 2) a partir da adaptação da metodologia de Lara, Pereira e Silva, 2017.

Tabela 1 - Análise química dos resíduos agroindustriais.

Resíduos	Ca	Mg	K	P	N	C	C/N
	mg/g					%	
Biochar de serragem	7,214	2,403	0,437	0,029	0,037	2,56	69,2
Biochar de açaí	1,700	1,600	16,100	9,600	0,560	37,76	67,0
Pó de serragem	2,405	1,442	0,098	0,004	0,183	31,32	171,15
Caroço de açaí triturado	4,008	0,961	1,113	1,395	0,557	9,76	17,52

Fonte: Autora, 2024.

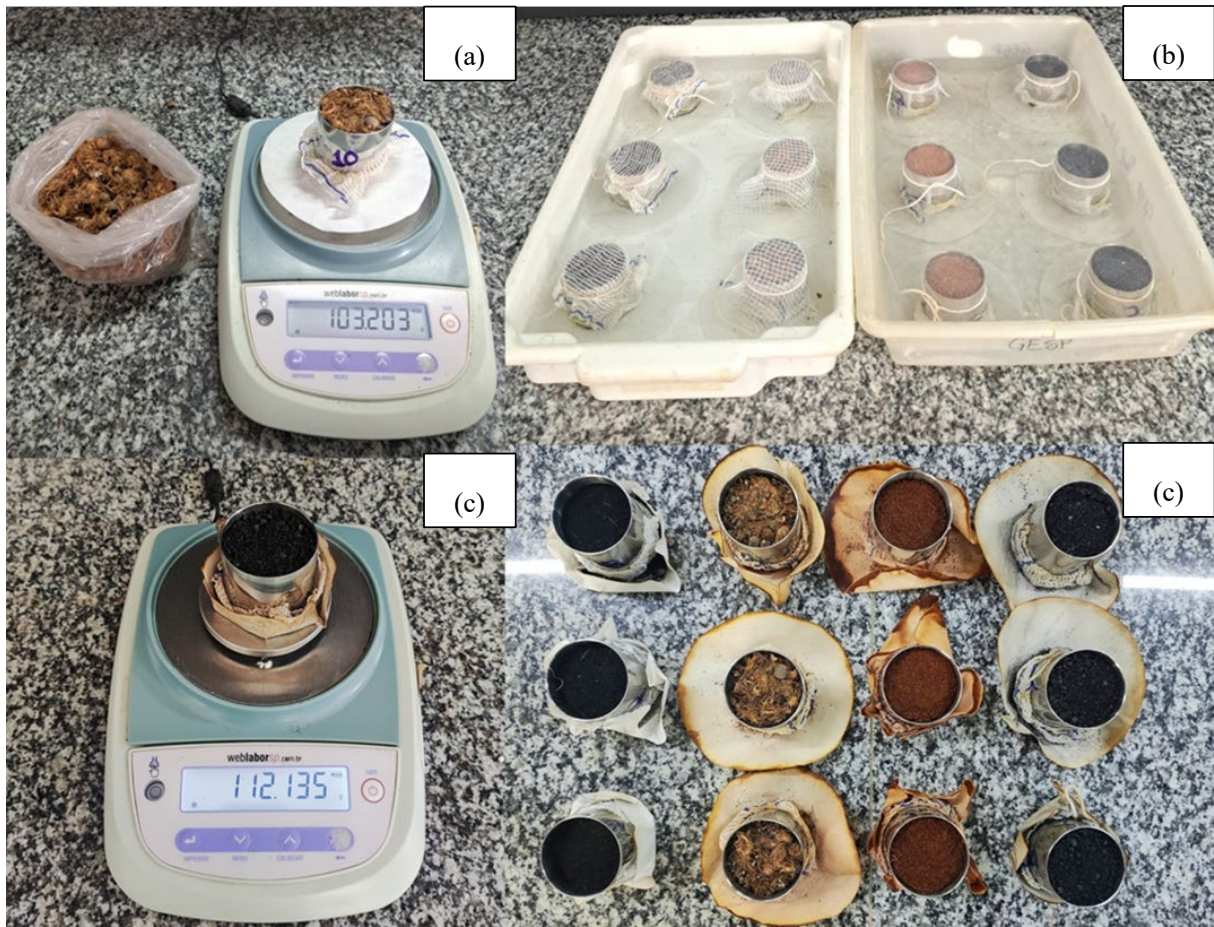
Tabela 2 - Caracterização física dos resíduos agroindustriais a partir da determinação da Ug, Ds e Pt.

Resíduos	Ug (g/g)	Ds (g/cm ³)	Pt (%)
Biochar de serragem	0,04	0,21	43,95
Biochar de açaí	0,13	0,47	76,70
Pó de serragem	0,15	0,23	95,88
Caroço de açaí triturado	0,07	0,28	60,95

Fonte: Autora (2024).

Foram utilizadas amostras deformadas em triplicata, utilizou-se anéis volumétricos de 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura, nos quais os resíduos foram acondicionados, tendo as extremidades cobertas com gases e nylon presas por elástico de borracha. O conjunto anel volumétrico+gases e nylon+elástico tiveram tara determinada previamente, então procedeu-se com a determinação da relação massa/volume (Figura 7a), em seguida as amostras foram colocadas em bandejas e saturadas até dois terços da altura do recipiente por 24 horas (Figura 7b). Após esse período, foram retiradas da bandeja e pesadas para obtenção da umidade de saturação da amostra, em seguida foram secas em estufa de ventilação de ar forçada a 65 °C por 48h para obtenção da massa seca (Figura 7c).

Figura 7 - Caracterização física dos resíduos agroindustriais a partir da obtenção da massa fresca (a), saturação para obtenção de massa saturada (b), pesagem de massa seca (c) e amostras após secagem em estufa (d).



Fonte: Autora (2024).

A determinação granulométrica (Tabela 3) foi realizada a partir da adaptação das metodologias de Andrade *et al.* (2019) e Silva *et al.* (2015), utilizou-se o agitador mecânico de peneiras tipo Yoder, e foram pesadas 50 g da biomassa de cada substrato em duplicatas, que foram submetidas ao peneiramento durante 30 minutos com agitação de 15 RPM.

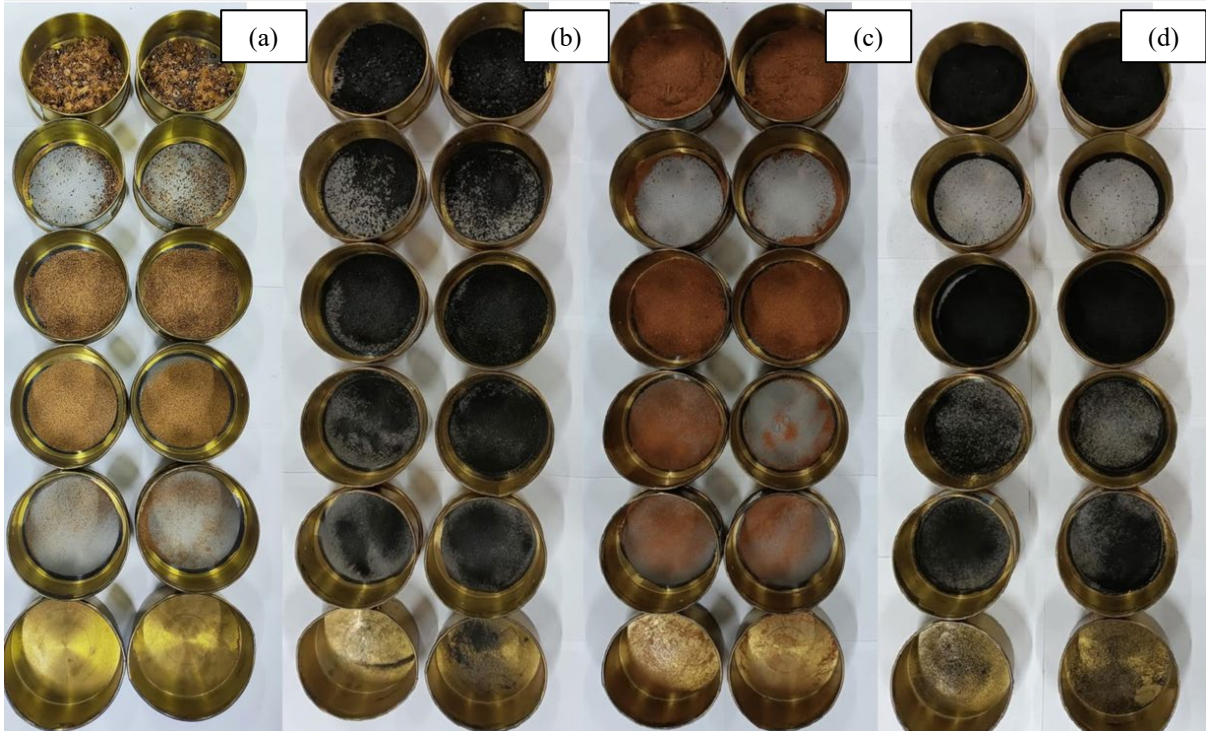
Tabela 3 - Caracterização física dos resíduos agroindustriais a partir da determinação granulométrica.

Resíduos	2,00 mm	1,00 mm	0,50 mm	0,25 mm	0,106 mm	Fundo
Biochar de serragem	42,05	0,40	5,89	0,58	0,40	0,13
Biochar de açaí	29,65	5,19	11,96	1,57	0,64	0,15
Pó de serragem	41,55	0,46	6,19	0,54	0,38	0,23
Caroço de açaí triturado	36,46	1,87	8,11	2,62	0,24	0,07

Fonte: Autora (2024).

A classificação granulométrica do material foi determinada utilizando-se as peneiras com abertura de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,106 mm (Figura 8).

Figura 8 - Caracterização física dos resíduos agroindustriais a partir da determinação granulométrica do caroço de açaí triturado (a), biochar de caroço de açaí (b), pó de serragem (c) e biochar de pó de serragem (d).



Fonte: Autora (2024).

4.4 Caracterização química e granulométrica do solo

Foi realizada a amostragem do solo na área antes da implantação do experimento para fins corretivos, a partir da coleta de dez amostras simples através de um amostrador holandês em cada camada avaliada, 0-20 cm e 20-40 cm (Figura 9a), em seguida as amostras foram homogêneas, secas ao ar, destorroadas, peneiradas em peneira de aço inoxidável, com malha de 2 mm de abertura (Figura 9b); e retirada uma amostra composta para realizar a caracterização granulométrica (Figura 10) segundo Claessen (1997) e química conforme metodologia proposta por Raji *et al.* (2001). Os resultados da análise química e granulométrica estão descritos nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

Figura 9 - Amostragem (a) e peneiramento (b) de solo para obtenção de terra fina seca ao ar.



Fonte: Autora (2024).

Tabela 4 - Análise química do solo, na profundidade 0-20 e 20-40 cm, da área experimental do IFAP/Campus Agrícola Porto Grande, Amapá, Brasil.

Camada (cm)	Ph (H ₂ O)	MO (g/kg)	P (mg/dm ³)	K	Ca+Mg	Ca	Al	H+Al	SB	CTC (pH7)	V	m
							cmol _g /dm ³				%	
0-20	4,3	14,31	8	0,02	1,4	0,6	1,9	4,5	1,4	5,9	24	58
20-40	4,3	16,03	2	0,02	0,9	0,7	1,7	3,0	0,9	3,9	23	65

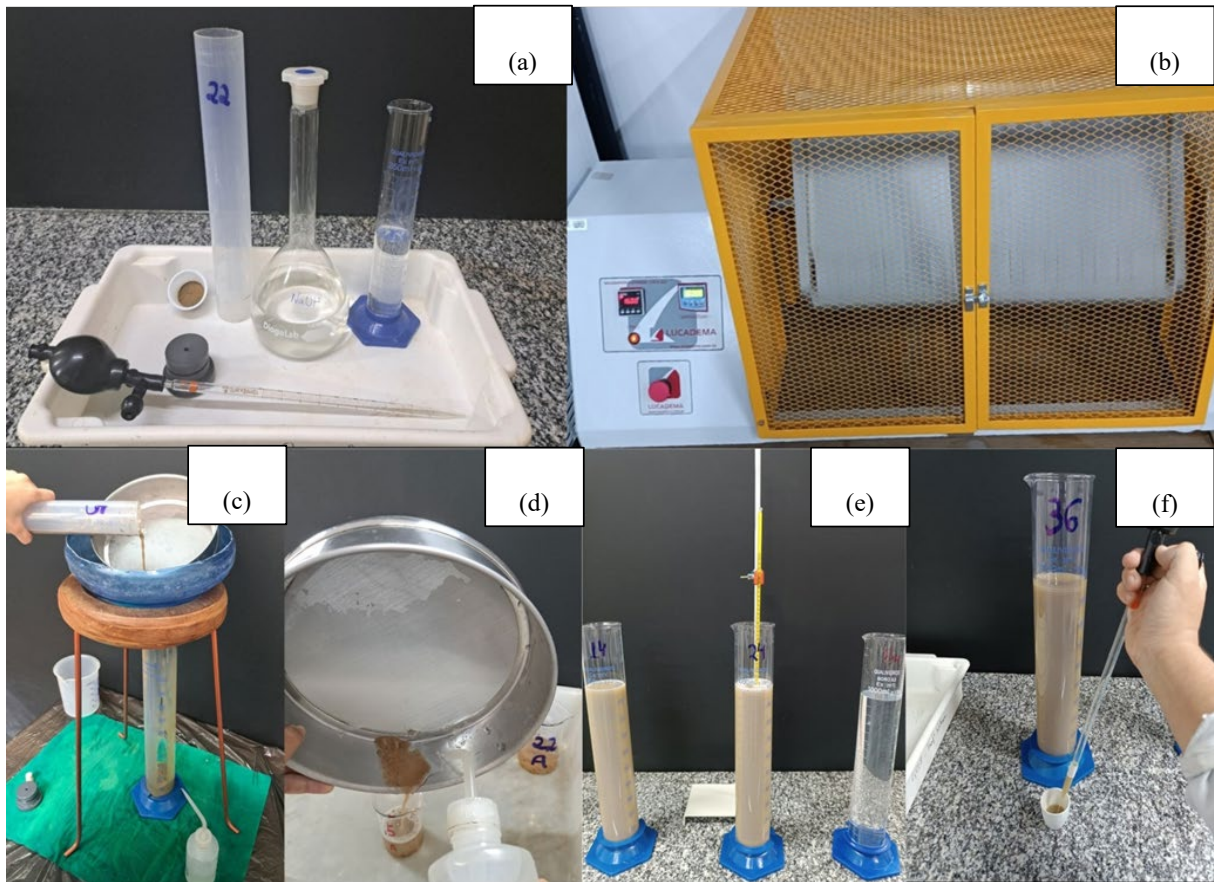
^aSB (Soma de bases); ^bCTC (capacidade de troca catiônica), ^cV (saturação por base) e ^dm (saturação por alumínio).
Fonte: Autora (2024).

Tabela 5 - Análise granulométrica do solo, na profundidade 0-20 e 20-40 cm, da área experimental do IFAP/Campus Agrícola Porto Grande, Amapá, Brasil.

Camada (cm)	argila	areia grossa	areia fina	silte	Classificação Textural
	g/kg				*SBCS
0-20	307,40	482,5	113,5	96,6	Franco-argiloarenosa
20-40	334,30	447,5	138,0	80,2	Franco-argiloarenosa

*Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Fonte: Autora (2024).

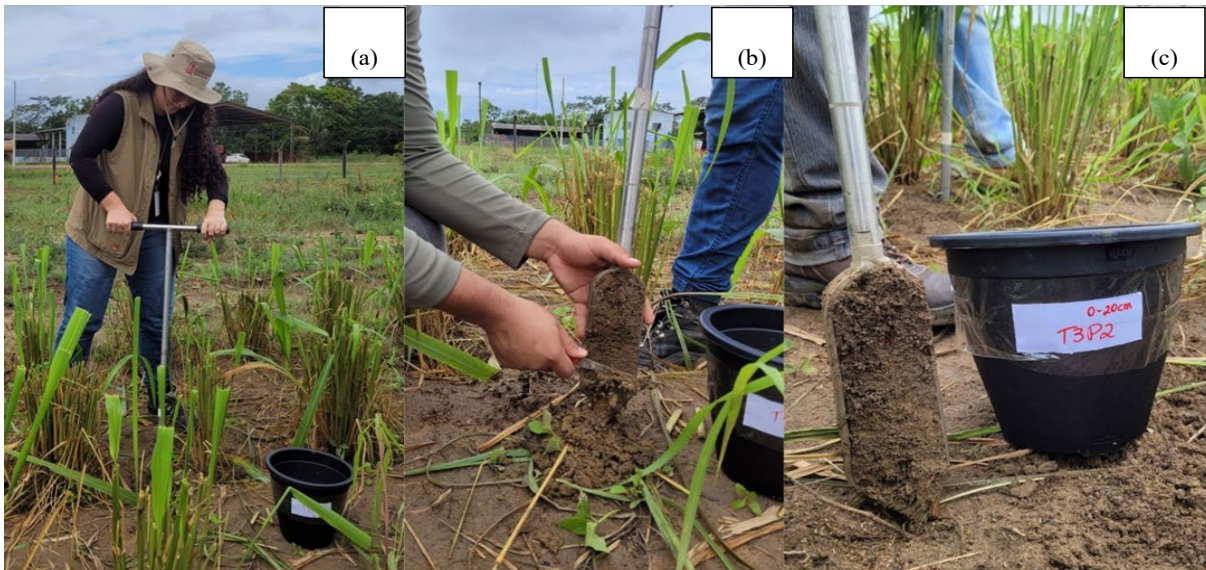
Figura 10 - Análise granulométrica pelo método da pipeta, dispersão (a, b), tamisamento (c, d) e sedimentação (e, f).



Fonte: Autora (2024).

Aos 120 dias após o cultivo do capim, 30 dias após o primeiro rebrote, também foi realizada a amostragem do solo, para caracterização química e granulométrica (Tabelas 6 e 7, respectivamente), sendo realizada uma amostragem simples nas duas camadas estudadas por bloco, em seguida as parcelas com os tratamentos correspondentes foram homogeneizadas e retirada uma amostra composta por tratamento para análise, totalizando 20 amostras deformadas (Figura 11).

Figura 11 - Amostragem (a) para caracterização química e granulométrica após implantação do experimento, toaleta (b) da amostra simples (c).



Fonte: Autora (2024).

Tabela 6 - Análise química do solo, por tratamento, na profundidade 0-20 e 20-40 cm, da área experimental do IFAP/Campus Agrícola Porto Grande, Amapá, Brasil.

Tratamento	Camada	pH	MO	P	K	Ca+Mg	Ca	Al	H+Al	SB	CTC (pH7)	V	m
	(cm)	(H ₂ O)	(g/kg)	(mg/dm ³)	-----cmol _c /dm ³ -----								----
T0P1	0-20	4,7	15,69	3	0,02	0,8	-	1,0	3,3	0,8	4,1	20	56
	20-40	4,5	9,65	1	0,02	0,3	-	0,4	1,9	0,3	2,2	14	57
T0P2	0-20	4,6	16,38	3	0,02	1,8	1,2	0,9	3,5	1,8	5,3	34	33
	20-40	4,8	10,17	1	0,02	0,7	-	1,4	2,5	0,7	3,2	22	67
T1P1	0-20	4,6	16,38	3	0,02	0,9	0,6	0,5	4,2	0,9	5,1	18	36
	20-40	4,5	9,65	1	0,02	0,2	-	1,5	2,4	0,2	2,6	8	88
T1P2	0-20	5,0	15,17	4	0,02	0,9	0,5	0,9	3,3	0,9	4,2	21	50
	20-40	4,1	13,62	2	0,02	0,5	-	0,8	3,6	0,5	4,1	12	62
T2P1	0-20	4,2	15,52	4	0,02	0,8	-	0,5	3,2	0,8	4,0	20	38
	20-40	4,1	10,52	1	0,02	0,3	-	1,0	2,3	0,3	2,6	12	77
T2P2	0-20	4,0	15,86	6	0,02	0,9	0,6	0,6	3,5	0,9	4,4	20	40
	20-40	5,0	10,34	1	0,02	0,4	-	1,1	2,6	0,4	3,0	13	73
T3P1	0-20	5,0	10,17	1	0,02	0,4	-	1,5	2,9	0,4	3,3	12	79
	20-40	4,0	10,69	1	0,02	0,2	-	1,0	2,6	0,2	2,8	7	83
T3P2	0-20	4,4	20,52	3	0,02	1,4	1,1	0,4	3,5	1,4	4,9	29	22
	20-40	4,3	10,17	2	0,02	0,4	-	0,7	2,4	0,4	2,8	14	64
T4P1	0-20	4,2	16,21	4	0,02	0,7	-	0,8	4,5	0,7	5,2	13	53
	20-40	4,2	10,69	1	0,02	0,4	-	0,8	2,6	0,4	3,0	13	67
T4P2	0-20	4,2	19,48	8	0,02	0,9	0,6	0,7	4,1	0,9	5,0	18	44
	20-40	4,3	13,62	2	0,02	0,4	-	0,8	3,7	0,4	4,1	10	67

^aSB (Soma de bases); ^bCTC (capacidade de troca catiônica), ^cV (saturação por base) e ^dm (saturação por alumínio).
Fonte: Autora (2024).

Tabela 7 - Análise granulométrica do solo, por tratamento, na profundidade 0-20 e 20-40 cm, da área experimental do IFAP/Campus Agrícola Porto Grande, Amapá, Brasil.

Tratamento	Camada	Argila	Areia grossa	Areia fina	Silte	Classificação Textural
	(cm)	----- g/kg -----				*SBCS
T0P1	0-20	308,10	543,50	100,50	47,90	Franco-argiloarenosa
	20-40	345,90	445,50	131,00	77,60	Franco-argiloarenosa
T0P2	0-20	321,90	477,50	158,50	42,10	Franco-argiloarenosa
	20-40	358,80	461,50	141,50	38,20	Argiloarenosa
T1P1	0-20	315,20	502,50	139,50	42,80	Franco-argiloarenosa
	20-40	348,10	475,00	140,00	36,90	Franco-argiloarenosa
T1P2	0-20	315,60	469,50	175,00	39,90	Franco-argiloarenosa
	20-40	343,70	479,00	154,00	23,30	Franco-argiloarenosa
T2P1	0-20	310,60	469,50	181,00	38,90	Franco-argiloarenosa
	20-40	355,90	483,50	126,50	34,10	Argiloarenosa
T2P2	0-20	365,30	506,00	102,50	26,20	Argiloarenosa
	20-40	356,50	470,50	123,00	50,00	Argiloarenosa
T3P1	0-20	352,30	502,00	116,50	29,20	Argiloarenosa
	20-40	324,10	485,50	145,50	44,90	Franco-argiloarenosa
T3P2	0-20	333,70	481,50	142,00	42,80	Franco-argiloarenosa
	20-40	378,00	449,00	149,00	24,00	Argiloarenosa
T4P1	0-20	333,60	486,00	150,00	30,40	Franco-argiloarenosa
	20-40	373,20	440,00	149,50	37,30	Argiloarenosa
T4P2	0-20	323,60	495,00	142,00	39,40	Franco-argiloarenosa
	20-40	336,50	485,00	454,00	24,50	Franco-argiloarenosa

*Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Fonte: Autora (2024).

4.5 Preparo do solo e propagação da forrageira

Inicialmente foi realizada uma limpeza da área, com auxílio de uma grande aradora, para eliminar as plantas invasoras e incorporar os resíduos vegetais remanescentes ao solo, em seguida foi realizada a demarcação das parcelas experimentais (Figura 12).

Figura 12 - Demarcação (a, b) e limpeza (c, d) da área experimental.



Fonte: Autora (2024).

A acidez do solo foi corrigida 30 dias antes do semeio utilizando-se $147,84 \text{ kg}/640\text{m}^2$, correspondendo à $2,31 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário dolomítico, com 32% de CaO, 15% de MgO e PRNT de 92% (Figura 13a e b), para elevar a saturação por bases a 60%, incorporado ao solo com grade aradora até 25 cm (Figura 13c). Após o período de reação do calcário foi realizada a adubação de base, com macro e micronutrientes, em um total de $32 \text{ kg de P}/640\text{m}^2$ e $6,4 \text{ kg de K}/640\text{m}^2$ na forma de superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente; com $3,2 \text{ kg}/640\text{m}^2$ de FTE BR12 (Figura 13e), aos 30 e 60 dias após o semeio foi realizado as adubações de cobertura com $8,73 \text{ kg de ureia}/640\text{m}^2$ e $2,66 \text{ kg de KCl}/640\text{m}^2$ (Figura 13f), conforme recomendação de calagem e adubação para o estado do Pará (Brasil; Cravo; Viegas, 2020).

Figura 13 - Aplicação do calcário (a) e (b), seguida da incorporação ao solo (c), pesagem dos adubos (d) e (e), realização das adubações de base (f) e coberturas (g).



Fonte: Autora (2024).

Após 30 dias de reação do calcário na área e por ocasião da adubação de bases, foi realizado a semeadura em linhas espaçadas de 0,5 a 1,0 m, a uma profundidade de 3 cm e a densidade foi de 780g/640m² (Costa *et al.*, 2001) (Figura 14).

Figura 14 - Pesagem das sementes (a) e semeio (b) do *Panicum maximum* Cv. Mombaça.



Fonte: Autora (2024).

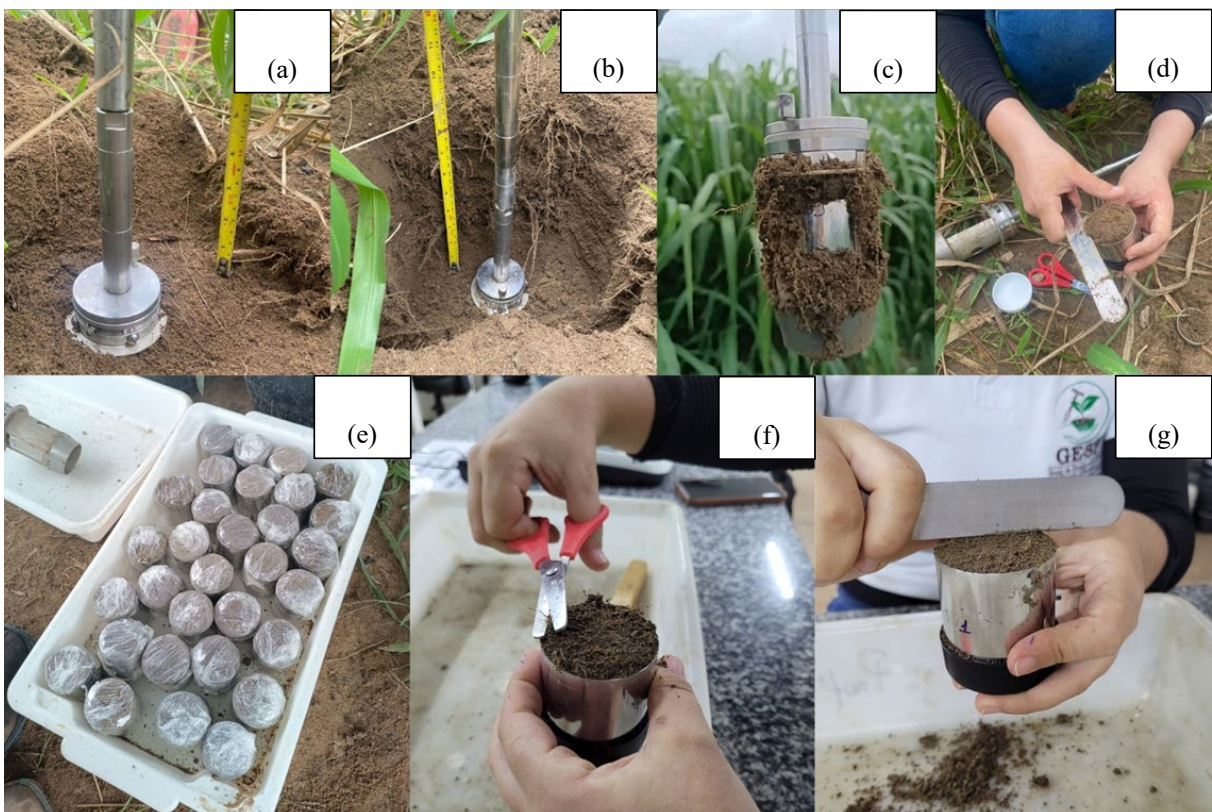
4.6 Avaliação física do solo

A coleta das amostras para as análises físicas do solo ocorreram aos 120 dias após o cultivo do capim, 30 dias após o primeiro rebrote, sendo realizadas de acordo com metodologia de Veiga (2011) e Teixeira *et al.* (2017), preferencialmente, quando o solo esteve com umidade

próxima a capacidade de campo, sendo utilizado o amostrador tipo uhland e anéis volumétricos de 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura para a coleta de amostras indeformadas entre as plantas, que foram utilizadas para análise da umidade do solo, porosidade total do solo e densidade do solo.

A amostragem do solo foi realizada preferencialmente entre as touceiras, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm (Barros, 2014) de profundidade em cada parcela (Figura 15a e 15b), por ocasião da coleta foi realizado uma pré-limpeza das amostras retirando os excessos de solo das bordas do anel (Figura 15c) e embalando as amostras em papel filme (Figura 15d) para evitar evaporação da água e perdas de solo das amostras. No laboratório foi realizada a limpeza final das amostras, nivelando as extremidades do solo com as bordas do anel e removendo solo aderido externamente a ele, com auxílio de canivete, espátula e tesoura (Figura 15e).

Figura 15 - Coleta de amostras indeformadas nas camadas de 0-20 (a) e 20-40 cm (b), pré-limpeza no campo (c) e (d), acondicionamento em papel filme (e) e limpeza final das amostras no laboratório (e) e (g).



Fonte: Autora (2024).

4.6.1 Umidade do solo

A umidade do solo foi determinada à base de massa (Equação 1), também conhecida como umidade gravimétrica (U_g), ou seja, a partir da razão entre a massa de água contida numa amostra de solo e a massa de sólidos da amostra. Foram pesadas as amostras de solos úmidas (M_u) contidas nos anéis volumétricos (Figura 16a) e posteriormente colocadas em estufa de ventilação de ar forçado por 24 horas na temperatura de 105 °C (Figura 16d) para obtenção da massa de solo seco (M_s) (Figura 16). As amostras foram pesadas em balança semi-analítica.

$$U_g = \frac{M_a}{M_s} = \frac{M_u - M_s}{M_s}$$

(Equação 1).

sendo:

u = umidade à base de massa (g/g);

M_a = massa de água na amostra de solo (g);

M_s = massa da amostra seca (g);

M_u = massa da amostra úmida (g).

4.6.2 Porosidade total do solo

Para determinar a porosidade total do solo (P_t) (Equação 2) foi recoberto umas das extremidades com gaze prendendo-a com um elástico, mantendo essa extremidade virada para baixo (Figura 16b). Em seguida, as amostras foram colocadas em uma bandeja plástica e umedecidas até 1 cm de altura de água. Quando a parte superior do anel se mostrou umedecida por meio da capilaridade, foi adicionado água lentamente, de maneira a quase cobrir a amostra (Figura 16c). Após 24 horas, as amostras saturadas foram retiradas da bandeja e pesadas (M_{sat}). Posteriormente, as amostras foram transferidas para a estufa de ventilação de ar forçado por 24 horas na temperatura de 105 °C (Figura 16d) para obtenção da massa de solo seco (M_s) (Figura 16f). As amostras foram pesadas em balança semi-analítica.

$$P_t(\%) = \frac{M_{sat} - M_s}{V_t} \times 100$$

(Equação 2).

sendo:

P_t = porosidade do solo (%);

M_{sat} = massa de amostra saturada (g);

M_s = massa da amostra seca (g);

V_t = volume total do solo seco (cm^3) = volume do anel volumétrico.

4.6.3 Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada através da relação entre a massa de sólidos (M_s) e o volume total da amostra de solo (V_t) (Equação 3). As amostras de solo foram transferidas para a estufa de ventilação de ar forçado por 24 horas na temperatura de 105 °C (Figura 16d) para obtenção da massa de solo seco (M_s) (Figura 16f) e posteriormente pesadas em balança semi-analítica. E o V_t foi obtido através da fórmula do cilindro ($\pi \cdot r^2 \cdot h$).

$$D_s = \frac{M_s}{V_t} = \frac{M_s}{V_s} + V_p$$

(Equação 3).

sendo:

D_s = densidade do solo (g/cm^3);

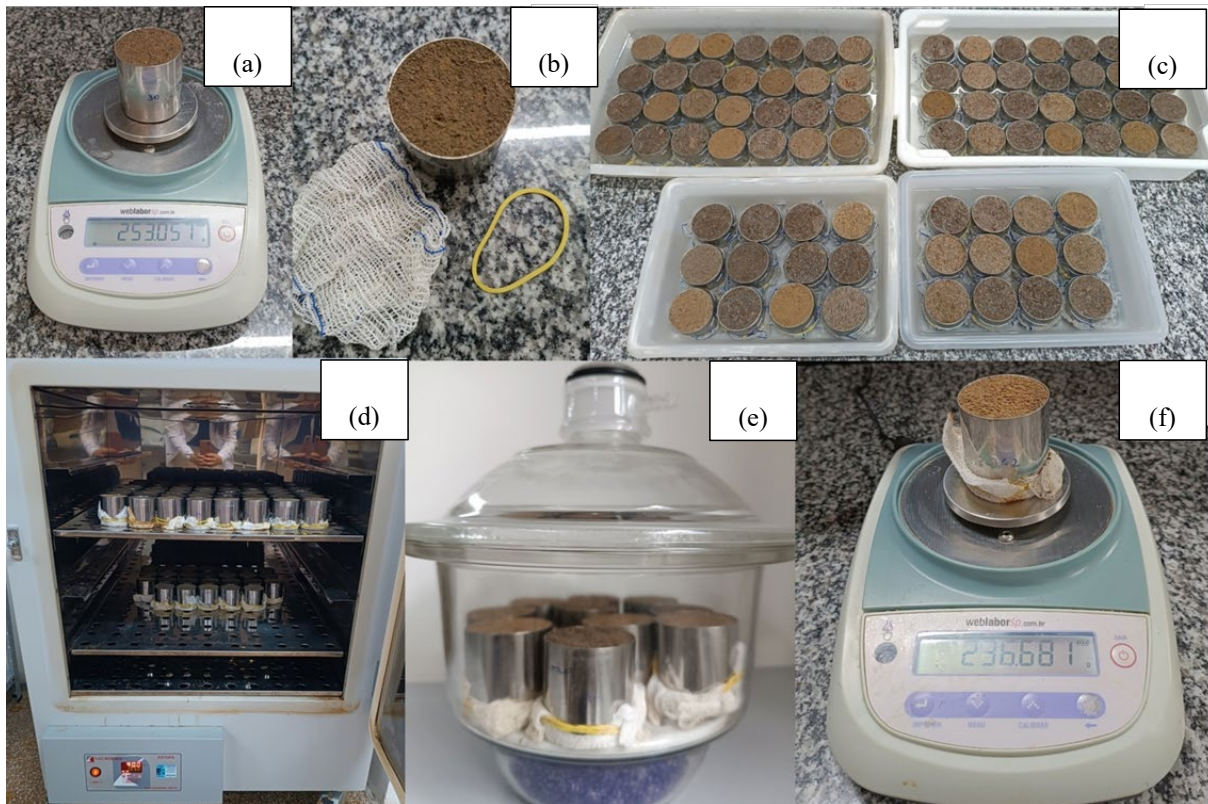
M_s = massa da amostra seca (g);

V_t = volume total do solo seco (cm^3);

V_s = volume das partículas do solo secas (cm^3);

V_p = volume de poros do solo (cm^3).

Figura 16 - Pesagem da massa úmida (a), gaze e liga de borracha para cobrir a extremidade inferior do anel (b), saturação das amostras para obtenção da massa saturada (c), secagem em estufa (d), resfriamento em dessecador (e) e pesagem da massa seca do solo (f).



Fonte: Autora (2024).

4.6.4 Diâmetro médio ponderado

A análise do diâmetro médio ponderado (DMP) foi realizada segundo a metodologia descrita por Nimmo e Perkins (2002), foram coletadas amostras indeformadas de solo, com dimensões de $0,15 \times 0,15 \times 0,10$ m nas camadas de 0-20 (Figura 17a) e 20-40 cm (Figura 17b) de profundidade, em cada parcela. As amostras ainda friáveis foram peneiradas em peneira de malha 6,3 mm e foram recolhidos os agregados retidos na peneira de 4 mm (Figura 17c), então foram secos ao ar sobre folhas de papel por 48 horas, em seguida foram acondicionados em potes plásticos para posteriores análises.

Por ocasião das análises foram avaliadas três repetições por amostra, foi pesado 25 g de agregados (Figura 17d) e 10 gramas de agregado para correção de umidade, este último foi seco em estufa de ventilação de ar forçado a 105 °C por 24 horas e posteriormente pesado.

A triplicata disposta sobre os jogos de peneiras foi submetida ao peneiramento em água em agitador mecânico tipo Yoder em jogo de peneiras com malhas de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,106 mm por 10 minutos a 30 RPM, com amplitude de 3,8 (Figura 17f). Após o peneiramento,

os solos retidos em cada peneira foram transferidos para formas de alumínio previamente identificadas (Figura 17g), e então as amostras foram secas em estufa por 24 horas a 105 °C e depois foi determinada a massa seca, e a partir daí calculado o DMP conforme equação abaixo:

$$DMP = \frac{\sum(X_i.W_i)}{ms}$$

(Equação 4).

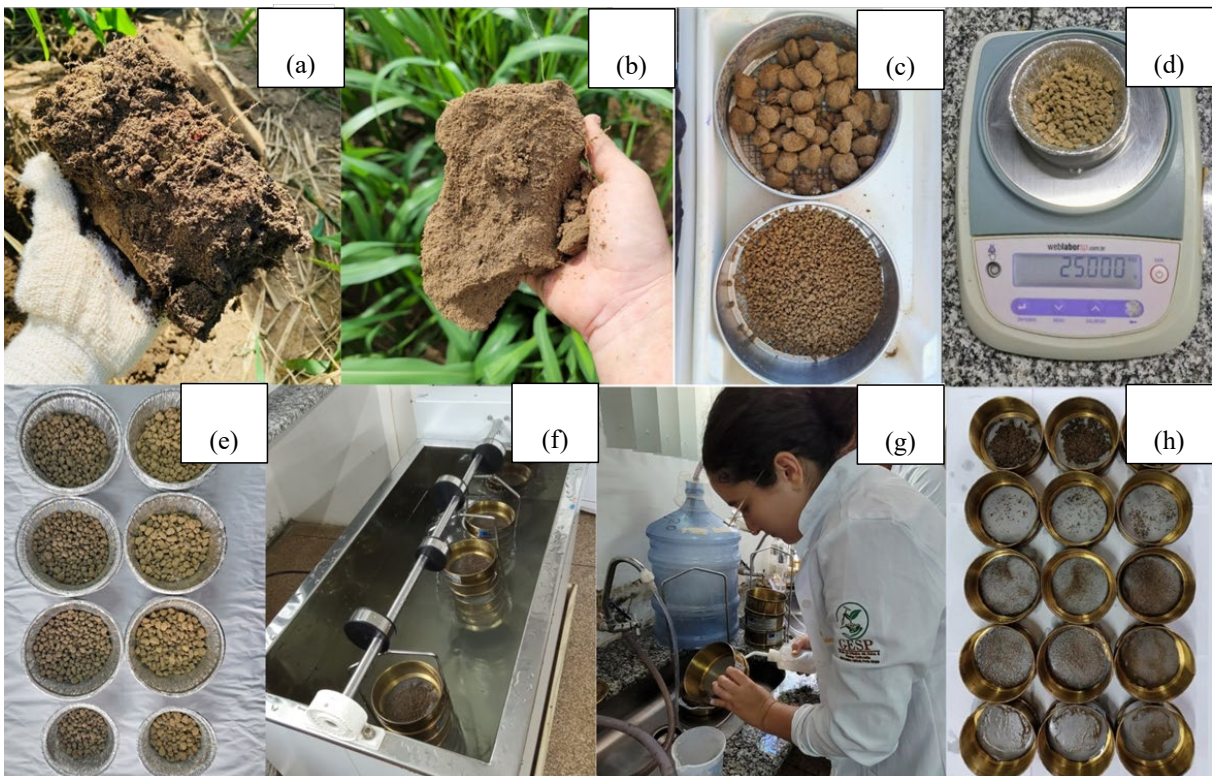
Onde:

X_i = diâmetro médio de cada fração retida na peneira;

W_i = massa de solo retida em cada peneira;

ms = massa seca da amostra de agregados.

Figura 17 - Coleta de amostras indeformadas das camadas de 0-20 (a) e 20-40 cm (b), peneiramento para obtenção de agregados na peneira de 4 mm (c), pesagem dos agregados (d) da triplicata (e) para peneiramento em água (f), transferência dos solos retidos nas peneiras para formas de alumínio para posterior secagem em estufa (g), distribuição das amostras nas peneiras após peneiramento em água (h).



Fonte: Autora (2024).

4.6.5 Índice de estabilidade de agregados

A análise do índice de estabilidade de agregados foi realizada de acordo com Fachin *et al.* (2019), na qual utilizou-se os dados da massa seca obtida em cada classe de peneira, a partir do procedimento realizado na análise de DMP, conforme equação a seguir:

$$IEA\% = \frac{PAR-PA-A}{PTA-A} \times 100$$

(Equação 5).

IEA%= estabilidade de Agregados (%);

PAR = peso de Agregados Retidos >0,25 mm (g);

PA = peso de Agregados <0,25 mm (g);

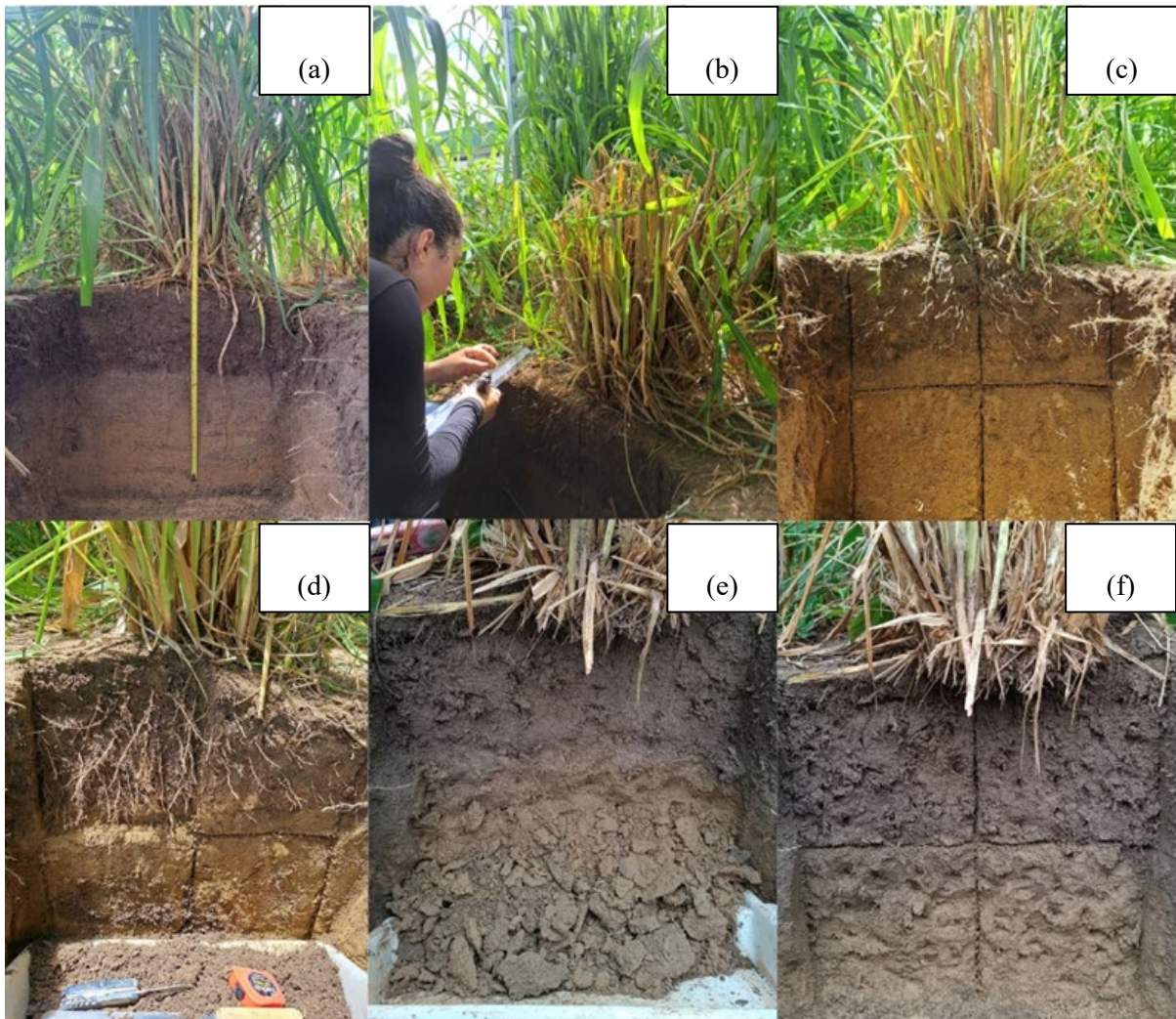
PTA = peso Total da Amostra (g);

A = areia total da amostra (g).

4.7 Avaliação da distribuição radicular

A coleta das raízes foi realizada conforme método do monólito quadrado (Bohm, 1979), foi realizada a abertura de trincheira, nivelamento do perfil (Figura 18a) e marcação das dimensões (Figura 18b). Foram coletados 4 monólitos abaixo de uma touceira por parcela (Figura 18c), com dimensões de 20 x 20 x 4 cm (profundidade x largura x espessura) cada, sendo coletados dois monólitos em ambas as profundidades (Figura 18).

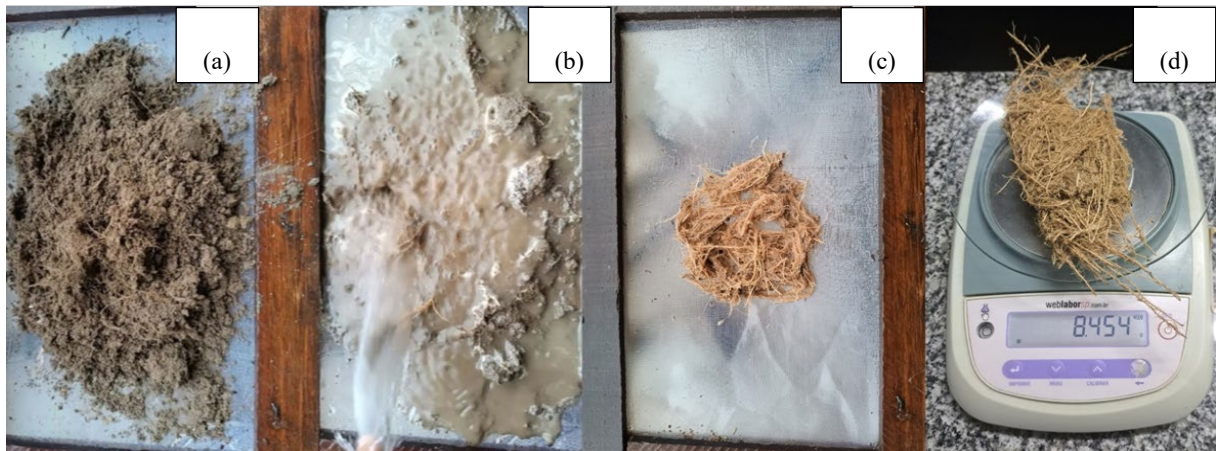
Figura 18 - Demarcação dos quadrados (a), (b) e (c), e coleta das raízes de *Panicum maximum* Cv. Mombaça nas camadas de 0-20 (d) e 20-40 (e) cm, em Latossolo após aplicação de resíduos agroindustriais da Amazônia.



Fonte: Autora (2024).

Os monólitos equivalentes a mesma camada foram homogeneizados (20 x 40 x 4 cm) totalizando um volume de 3.200 cm³ cada, em seguida as raízes foram lavadas (Figura 19b) e separadas do solo através de uma peneira de 0,5 mm (Figura 19c). Foi realizada secagem em estufa de ventilação de ar forçada a 65 °C por 48h para obtenção da massa seca (Figura 19d) e determinação da densidade de massa radicular (DMR) (kg/m³).

Figura 19 - Lavagem (a), (b) e (c), e pesagem (d) de massa seca de raízes de *Panicum maximum* Cv. Mombaça, cultivado em Latossolo após aplicação de resíduos agroindustriais da Amazônia.



Fonte: Autora (2024).

4.8 Análises biométricas e de produção

4.8.1 Variáveis de crescimento

Aos 120 dias de cultivo, 30 dias após o primeiro rebrote, foram determinados a altura da touceira (AT), medida com fita métrica (Figura 20a), do colo da planta à extremidade final da folha e o diâmetro do colmo (DC), com auxílio de paquímetro digital (Figura 20b), além da quantificação do número de perfilhos (NP) e número de folhas mortas (NFM), senescentes (NFS) e verdes (NFV), correspondendo a contagem de: lâminas foliares com mais de 50% da área foliar amarelecida/necrosada, número de lâminas foliares com até 50% de área foliar amarelecida/necrosada e número de folhas que não apresentavam nenhum sinal de senescência (Figura 21), respectivamente (Oliveira *et al.*, 2007), em duas touceiras por parcela, para posterior média.

Figura 20 - Coleta dos dados biométricos de altura (a) e diâmetro do colmo (b) de *Panicum maximum* Cv. Mombaça, cultivado em Latossolo após aplicação de resíduos agroindustriais da Amazônia.



Fonte: Autora (2024).

Figura 21 - Lâminas foliares verdes (a), senescentes (b) e mortas (c) de *Panicum maximum* Cv. Mombaça, cultivado em Latossolo após aplicação de resíduos agroindustriais da Amazônia.



Fonte: Autora (2024).

4.8.2 Variáveis de produção

Para avaliar a produção do capim, a parte aérea foi coletada 30 dias após o rebrote do primeiro corte (Oliveira *et al*, 2017) totalizando 120 dias após a implantação do experimento,

o corte foi realizado a partir dos 40 cm em relação ao solo de acordo com a altura de saída de pastejo, visando a conservação dos meristemas para o posterior rebrote. Foram coletadas duas touceiras e separado folha e colmo (Figura 22a e b), seguido de posterior secagem em estufa de ventilação de ar forçada forçada a 65 °C por 48h para determinação da matéria seca de folhas (MSF), matéria seca do colmo (MSC) (Figura 22c e d) e relação folha/colmo (F/C). A matéria seca foi determinada utilizando balança, com unidade expressa em kg por touceira.

Figura 22 - Folhas (a) e colmos (b) coletados para obtenção de suas respectivas massas seca (c) e (d) de *Panicum maximum* Cv. Mombaça, cultivado em Latossolo após aplicação de resíduos agroindustriais da Amazônia.



Fonte: Autora (2024).

4.9 Análise estatística

Os resultados serão submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para o efeito da aplicação (com e sem incorporação) dos resíduos agroindustriais ao solo. Para a análise estatística será utilizado o programa estatístico AgroEstat (Barbosa; Maldonado Junior, 2009).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resíduos agroindustriais e os modos de aplicação (sem e com incorporação) influenciaram as variáveis estudadas. De forma isolada, houve influência ($p < 0,01$ e $p < 0,05$) dos resíduos para todas as variáveis avaliadas, com exceção da Ug na camada de 0-20 cm e do DC. Os modos de aplicação não influenciaram a Ug, Ds, Pt, DMP, IEA na camada de 0-20 cm, Ds na camada de 20 a 40 cm, altura, NFV, MSF, MSC e relação F/C. Houve influência da interação (resíduos e modo de aplicação) nas variáveis, com exceção da Ug e IEA na profundidade de 0-20 cm, Pt na profundidade de 20-40 cm, MSF e relação F/C (Tabelas 8 e 9).

Tabela 8 - Análise de variância para umidade gravimétrica (Ug), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), diâmetro médio ponderado (DMP), índice de estabilidade de agregados (IEA) e densidade de massa radicular (DMR) nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade de um Latossolo Amarelo cultivado com capim Mombaça após aplicação (com e sem incorporação) de resíduos agroindustriais da Amazônia. Porto Grande, Amapá, Brasil.

F.V	G.L	Quadrado Médio					
		Ug (g/g)	Ds (g/cm ³)	Pt (%)	DMP (mm)	IEA (%)	DMR (kg/m ³)
Camada (0-20 cm)							
T	4	0,0008 ^{ns}	0,004 ^{**}	33,75 ^{**}	16,50 ^{**}	1018,34 ^{**}	24,59 ^{**}
I	1	0,0004 ^{ns}	0,002 ^{ns}	8,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	11,58 ^{ns}	20,99 ^{**}
T x I	4	0,0005 ^{ns}	0,012 ^{**}	6,42 [*]	0,45 ^{**}	11,73 ^{ns}	36,64 ^{**}
CV (%)	-	8,70	2,26	2,60	5,43	10,60	11,34
Camada (20-40 cm)							
T	4	0,0002 ^{**}	0,013 ^{**}	54,21 ^{**}	13,20 ^{**}	1221,56 ^{**}	0,051 ^{**}
I	1	0,0002 [*]	0,001 ^{ns}	34,67 ^{**}	2,51 ^{**}	1218,26 ^{**}	0,007 ^{**}
T x I	4	0,0002 ^{**}	0,007 ^{**}	1,58 ^{ns}	6,27 ^{**}	825,71 ^{**}	0,006 ^{**}
CV (%)	-	3,90	1,38	2,61	6,55	10,21	9,62

F.V = Fonte de variação; CV = coeficiente de variação; G.L = Grau de liberdade; ^{ns} = não significativo; * = significativo ($p < 0,05$); ** = significativo ($p < 0,01$) pelo teste Tukey. Fonte: Autora (2024).

Tabela 9 - Análise de variância para altura da touceira (AT), diâmetro do colmo (DC), número de perfilhos (NP), número de folhas verdes (NFV), número de folhas senescentes (NFS), número de folhas mortas (NFM), massa seca das folhas (MSF), massa seca do colmo (MSC) e relação folha/colmo (F/C) de capim Mombaça cultivado em Latossolo Amarelo após aplicação (com e sem incorporação) de resíduos agroindustriais da Amazônia, Porto Grande, Amapá, Brasil.

F.V	G.L	Quadrado Médio								
		AT (m)	DC (mm)	NP	NFV	NFS	NFM	MSF	MSC	F/C
T	4	0,039**	1,32 ^{ns}	244,29**	3589,73**	6,63*	196,84**	0,032**	0,004**	4,15**
I	1	0,003 ^{ns}	12,05**	202,50**	28,90 ^{ns}	9,03*	648,03**	0,000 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,03 ^{ns}
T x I	4	0,012*	5,31**	170,69**	1010,15**	6,53*	159,59*	0,002 ^{ns}	0,003*	0,70 ^{ns}
CV (%)	-	3,25	8,17	8,06	7,07	20,80	16,73	8,23	20,06	19,68

F.V = Fonte de variação; CV = coeficiente de variação; G.L = Grau de liberdade; ns = não significativo; * = significativo ($p < 0,05$); ** = significativo ($p < 0,01$) pelo teste Tukey. Fonte: Autora (2024).

5.1 Atributos físicos do solo

A Ug do solo na camada de 0-20 cm de profundidade não foi influenciada por ambos os fatores avaliados, todavia na camada de 20-40 cm sem a incorporação do caroço de açaí triturado ocorreu incremento de 17,65% na Ug (0,20 g/g) tanto em relação ao controle, quanto ao tratamento com a incorporação do mesmo resíduo (Tabela 10). A umidade do solo é influenciada por diversos fatores, dentre eles: a composição granulométrica, a densidade do solo e a matéria orgânica, este último podendo ser adicionado por meio de potenciais condicionadores, como o biochar. Contudo semelhantemente a esta pesquisa, alguns estudos com biochar não obtiveram impacto na retenção de água em solo arenoso, ou argilo-arenoso, pois foi constatado caráter hidrofóbico do biocarvão (Hardie *et al.* 2014; Jeffery *et al.*, 2015; Sato *et al.*, 2020), contrastando com outros estudos que observaram aumento da capacidade de retenção de água após aplicação de biocarvão de caroço de açaí (Costa, 2021a).

Os estudos investigando as influências nos atributos físicos do solo a partir da adição de resíduos de pó de serragem e caroço de açaí triturado ainda são escassos, todavia em pesquisa conduzida em laboratório com adição de serragem foi observado aumento nos valores de condutividade (El Halim; El Baroudy, 2014). Enquanto em estudo desenvolvido em campo, no qual buscou-se investigar efeito da aplicação de diferentes serragens de madeira (peroba, cedrinho, eucalipto) a longo prazo, os resultados demonstraram que a umidade do solo (equivalente a capacidade de campo) e a capacidade de água disponível foram alterados

somente pelo manejo do solo, obtendo-se os maiores valores para estas variáveis ao realizar a incorporação dos resíduos (Jardini *et al.*, 2023).

Tabela 10 - Média \pm desvio padrão dos atributos físicos, umidade gravimétrica (Ug), densidade do solo (Ds) e porosidade total (Pt), nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade de um Latossolo Amarelo cultivado com capim Mombaça após aplicação (com e sem incorporação) de resíduos agroindustriais da Amazônia. Porto Grande, Amapá, Brasil.

Trat.	Ug (g/g)		Ds (g/cm ³)		Pt (%)	
	I	NI	I	NI	I	NI
Camada (0-20 cm)						
T0	NS		1,34 aA \pm 0,02	1,23 cB \pm 0,02	55,75 bA \pm 2,93	56,93 aA \pm 0,65
T1	NS		1,28 abA \pm 0,04	1,28 bcA \pm 0,01	56,15 bA \pm 1,65	55,90 aA \pm 0,86
T2	NS		1,26 bcB \pm 0,02	1,34 aA \pm 0,03	54,86 bA \pm 1,46	52,75 bA \pm 1,49
T3	NS		1,23 bcA \pm 0,02	1,26 bcA \pm 0,04	61,19 aA \pm 0,65	57,88 aB \pm 0,96
T4	NS		1,21 cB \pm 0,01	1,30 abA \pm 0,04	56,87 bA \pm 0,77	56,87 aA \pm 0,78
Camada (20-40 cm)						
T0	0,17 aA \pm 0,001	0,17 bA \pm 0,005	1,64 aA \pm 0,01	1,63 aA \pm 0,02		NS
T1	0,17 aA \pm 0,009	0,18 bA \pm 0,005	1,63 aA \pm 0,02	1,55 bcB \pm 0,02		NS
T2	0,18 aA \pm 0,005	0,18 bA \pm 0,005	1,54 bB \pm 0,02	1,61 aA \pm 0,01		NS
T3	0,18 aA \pm 0,005	0,18 bA \pm 0,005	1,52 bB \pm 0,01	1,59 abA \pm 0,01		NS
T4	0,17 aB \pm 0,005	0,20 aA \pm 0,013	1,53 bA \pm 0,01	1,52 cA \pm 0,04		NS

Trat. = Tratamento; T0 = sem aplicação de resíduos; T1= biochar de pó de serragem (*Manilkara huberi*); T2 = biochar de caroço de açaí; T3 = pó de serragem de Maçaranduba; T4 = caroço de açaí triturado; NI (I1) = sem incorporação e I (I2) = com incorporação. As médias seguidas pela mesma letra minúscula, em coluna, não diferem estatisticamente entre os resíduos agroindustriais testados. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, em linha, não diferem entre si no fator incorporação. Teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Autora (2024).

O caroço de açaí triturado tem sido mais investigado em produção de substratos para mudas em detrimento da sua adição ao solo no campo e, portanto, as informações são incipientes. Todavia, o aumento da Ug na camada de 20-40 cm, observado neste estudo a partir da aplicação do caroço de açaí triturado em superfície, pode ser inferido pela sua distribuição granulométrica, caracterizada por maior equilíbrio das partículas em detrimento dos demais resíduos, combinada com uma boa porosidade total (60,95%) e intermediária densidade (0,28g/g) (Tabela 2), gerando uma boa estruturação e estabilidade do resíduo nessa condição. Assim o caroço de açaí aplicado em superfície funcionou de fato como um “mulch”, facilitando

a infiltração de água e conservando a umidade do solo em subsuperfície e, ao mesmo tempo, reduzindo os riscos de escoamento superficial e, conseqüentemente, auxiliando o solo em suas várias funções ecológicas, como nutrir e suprir a demanda hídrica das plantas, evitar a erosão e manter o equilíbrio climático.

A Ds na camada de 0-20 cm reduziu 9,70% com a incorporação do caroço de açaí triturado (1,21 g/cm³), e semelhantemente com pó de serragem (1,23 g/cm³) e biochar de açaí (1,26 g/cm³) 8,21% e 5,97%, respectivamente, todavia quando não ocorreu à incorporação dos resíduos ao solo a Ds apresentou algumas elevações, o pó de serragem (1,26 g/cm³) e biochar de serragem (1,28 g/cm³) apresentaram as menores médias de Ds nessa condição com valores similares ao controle (1,23 g/cm³) que apresentou a menor Ds, sendo 8,21% inferior ao controle na condição de incorporação. Na camada de 20-40 cm a incorporação ao solo do pó de serragem (1,52 g/cm³), caroço de açaí triturado (1,53 g/cm³) e biochar de caroço de açaí (1,54 g/cm³) contribuíram para a redução da Ds em 7,32%, 6,71% e 6,10%, respectivamente, enquanto quando os resíduos foram aplicados em superfície o caroço de açaí triturado e biochar do pó de serragem, com valores de 1,52 e 1,55 g/cm³, respectivamente, também obteve-se redução da Ds em subsuperfície, correspondendo a 6,75% e 4,91%, respectivamente, em relação ao controle.

Esses resultados convergiram com os que foram obtidos em estudo com a utilização de resíduos de madeira em Argissolos do estado do Pará, no qual obteve-se a diminuição da densidade, com valores entre 1,19 a 1,33 kg dm⁻³ para os solos com adição desses resíduos (Monteiro *et al.*, 2006). O biochar de resíduos de açaí apresentou elevada porosidade (Tabela 2), com boa área superficial (920,56 m² g⁻¹) (Ramirez *et al.*, 2022), o que contribuiu para a melhoria da estruturação do solo por meio do incremento de matéria orgânica (Tabela 1), aumentando a aeração e contribuindo para a formação de agregados no solo e, conseqüentemente, para a redução da densidade do solo.

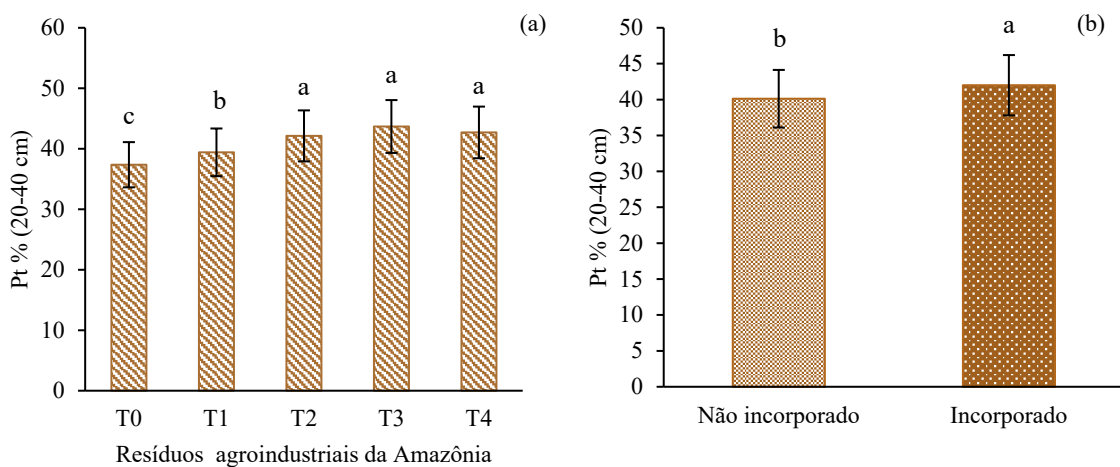
A Pt do solo na camada de 0-20 cm aumentou 9,76% com a incorporação de pó de serragem (61,19%) em comparação com o controle (55,75%) e 5,72% em relação a aplicação do mesmo resíduo em superfície, quando não ocorreu a incorporação do pó de serragem (57,88%), biochar do pó de serragem (55,90%) e caroço de açaí triturado (56,87%) ocorreu incrementos similares ao controle (56,93%) (Tabela 2). Em estudos com a aplicação incorporada de biochar de eucalipto até a profundidade de 20 cm, também foi observado o aumento da porosidade total do solo com a aplicação desse resíduo (Fogaça *et al.*, 2019).

Na camada de 20-40 cm a Pt teve aumento de 16,9%, 14,4% e 12,8% com as respectivas adições de resíduos de pó de serragem (43,68%), caroço de açaí triturado (42,70%) e biochar

de caroço de açaí (42,13%) independentemente do modo de aplicação (Figura 23a). Enquanto, também ao avaliar isoladamente o fator incorporação, a porosidade total do solo na camada de 20-40 cm foi superior 4,69% com a incorporação (42,0%) em detrimento de quando não houve a incorporação (40,12%) (Figura 23b). Assim como os usos resíduos de madeira em solos da Amazônia paraense também influenciou a incremento na porosidade total do solo, apresentando porosidade de 48%, 41% e 39% nas respectivas profundidades: 0-15, 15-25 e 25-45 cm, correspondendo ao aumento de 37%, 37% e 22%, respectivamente (Monteiro *et al.*, 2006).

A porosidade do solo é uma propriedade bastante influenciada pelo manejo do solo, assim revolvimento constante do solo resulta na rápida perda de matéria orgânica, sendo necessário tanto o incremento de matéria orgânica no solo quanto à limitação das práticas de aração mecanizadas. Nas camadas subsuperficiais degradadas por compactação os valores de Pt variam entre menos de 25% (Brady; Weil, 2013). Assim, a adição de matéria orgânica, considerada um agente cimentante, promove agregação entre as partículas minerais e a matéria orgânica, criando uma rede de poros dentro e fora dos agregados, e aumentando a porosidade do solo, como observado nos resultados da camada superficial deste estudo. A porosidade total do solo é composta de microporos, nos quais ocorre a retenção de água no solo, e macroporos, nos quais ocorre movimentação livre de ar e água, bem como concentração de organismos vivos como pequenos animais e raízes, inclusive estes últimos podem auxiliar na melhoria da porosidade ao criar bioporos.

Figura 23 - Porosidade total do solo em função dos resíduos agroindustriais (a) incorporados ou não (b) em um Latossolo cultivado com *Panicum maximum* Cv. Mombaça.



As médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente ($p < 0,05$) entre os resíduos agroindustriais testados. Fonte: Autora (2024).

O DMP na camada de 0-20 cm do solo teve incrementos de 111,97% e 141,38% com a aplicação de pó de serragem quando aplicado em superfície (6,55 mm) e incorporado (6,30 mm), respectivamente, em relação aos controles (3,09 mm e 2,61 mm, respectivamente). Semelhantemente, quando incorporado, o biochar de caroço de açaí (6,47 mm) proporcionou aumento de 147,89% do DMP em relação ao controle (2,61 mm) e de 12,33% em detrimento da não incorporação deste resíduo (5,76 mm) ao solo. Na camada de 20-40 cm com a incorporação do pó de serragem (6,64 mm) também se obteve aumento do DMP de 251,32% em relação ao controle (1,89 mm) e de 112,14% em relação a aplicação em superfície (3,13 mm). O biochar de caroço de açaí quando não incorporado ao solo propiciou maior DMP (5,32 mm) correspondendo ao aumento de 222,42% em relação ao controle (1,65 mm) e de 27,88% quando comparado à aplicação incorporada desse resíduo (4,16 mm).

Dessa forma, é possível concluir que todos os tratamentos avaliados, incluindo o controle, demonstraram ser resistentes a erosão uma vez que os valores de DMP foram bem superiores ao limite entre baixa e alta estabilidade de agregados (0,50 mm) estabelecida por estudos prévios (Kiehl, 1979). De modo geral, solos arenosos são menos predispostos a formarem estrutura e, por isso, são menos estáveis e resistentes diante da ação de intemperes erosivos e revolvimento frequente do solo. Todavia, é possível recuperar, de forma mais rápida, a agregação desses tipos de solos através da adição de compostos orgânicos, uma vez que estes saturam rapidamente os poucos sítios de ligação organominerais e promovem a união e estabilização das partículas dos solos arenosos (Lima; Kaiser, 2023).

Outros estudos têm confirmado a melhora na estabilidade dos agregados do solo com a aplicação de biocarvão, Sato (2018) ao aplicar biocarvão de caroço de açaí observou influência significativa nos valores de DMP já com período de incubação de 90 dias, assim como Costa (2021a) que ao utilizar biocarvão de caroço de açaí pirolisado a 400 °C (25 g kg⁻¹) obteve maior quantidade de agregados com diâmetros de 4,76 e 0,53 mm.

Tabela 11 - Média \pm desvio padrão dos atributos físicos diâmetro médio ponderado (DMP) e índice de estabilidade de agregados (IEA) nas camadas de 0-20 e 20-40 cm em Latossolo Amarelo do cerrado amapaense cultivado com capim Mombaça após aplicação (com e sem incorporação) de resíduos agroindustriais da Amazônia, na fazenda experimental do IFAP, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.

Tratamento	DMP (mm)		IEA (%)	
	I	NI	I	NI
Camada (0-20 cm)				
T0	2,61 dB \pm 0,23	3,09 dA \pm 0,35	NS	
T1	4,70 cA \pm 0,09	4,39 cA \pm 0,18	NS	
T2	6,47 aA \pm 0,23	5,76 bB \pm 0,45	NS	
T3	6,30 aA \pm 0,27	6,55 aA \pm 0,21	NS	
T4	5,35 bA \pm 0,24	5,48 bA \pm 0,17	NS	
Camada (20-40 cm)				
T0	1,89 dA \pm 0,06	1,65 dA \pm 0,06	11,57 dA \pm 2,41	9,67 cA \pm 1,74
T1	3,50 cA \pm 0,29	3,35 cA \pm 0,26	21,83 cB \pm 1,96	29,44 aA \pm 3,55
T2	4,16 bB \pm 0,38	5,32 aA \pm 0,40	35,78 bA \pm 3,20	30,23 aB \pm 2,03
T3	6,64 aA \pm 0,16	3,13 cB \pm 0,10	66,57 aA \pm 3,05	21,06 bB \pm 2,72
T4	4,20 bA \pm 0,21	4,44 bA \pm 0,16	39,12 bA \pm 4,02	29,28 aB \pm 2,96

T0 = sem aplicação de resíduos; T1= biochar de pó de serragem (*Manilkara huberi*); T2 = biochar de caroço de açaí; T3 = pó de serragem de Maçaranduba; T4 = caroço de açaí triturado; NI (I1) = sem incorporação e I (I2) = com incorporação. As médias seguidas pela mesma letra minúscula, em coluna, não diferem estatisticamente entre os resíduos agroindustriais testados. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, em linha, não diferem entre si no fator incorporação. Teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Autora (2024).

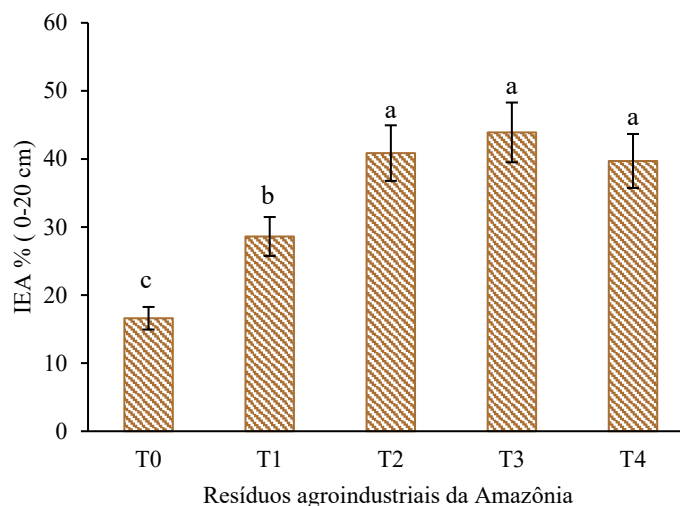
O IEA na camada de 0-20 cm (Figura 24) aumentou 164,46%, 146,14% e 139,10%, respectivamente, com adição de pó de serragem (43,90%), biochar de caroço de açaí (40,86%) e caroço de açaí triturado (39,69%) em comparação com o controle (16,60%), independente do modo de aplicação. O IEA na camada de 20-40 cm (Tabela 11) teve incrementos significativos com a aplicação incorporada do pó de serragem (66,57%) em detrimento do controle (11,57%) e da aplicação em superfície (21,06%). Quando aplicado em superfície, o biochar de caroço de açaí (30,23%), biochar de pó de serragem (29,44%) e caroço de açaí triturado (29,28%) propiciaram o aumento de 212,62%, 204,45% e 202,79%, respectivamente, do IEA em comparação ao controle (9,67%).

Em experimento com resíduos de madeira (serragem de peroba, cedrinho e eucalipto) e dois modos de aplicação (com e sem incorporação), após cinco anos de aplicação dos resíduos, não foi observado influência dos fatores aplicação e tratamentos sobre o IEA, todavia o valor

médio obtido para este índice foi de 90,12%, segundo os autores em virtude do enriquecimento de carbono, aliado a um período de não revolvimento do solo, bem como a textura argilosa do solo estudado, que favoreceu a maior agregação do solo e, conseqüentemente, maior estabilidade dos agregados (Jardini *et al.*, 2023).

Segundo Klein (2014) quanto mais próximo de 100% o valor de IEA estiver, maior é a quantidade de agregados estáveis em água, do qual com este experimento, foi mais aproximado com o resíduo de pó de serragem em subsuperfície. Embora os valores de IEA, de modo geral, estejam baixos, é possível notar um aumento deste índice com a aplicação dos resíduos em detrimento dos controles, o que sugere que o enriquecimento de carbono por meio desses resíduos (Tabela 1) aumente a resistência desse solo, e que em longo prazo com a estabilização do carbono os resultados podem ser potencializados, todavia é necessário salientar que esse índice é resultado de diversos fatores, como manejos adotados anteriormente na área, profundidade e a própria textura do solo, que neste estudo teve elevados teores de fração areia (Tabela 7), o que também influencia num menor valor de IEA.

Figura 24 - Índice de estabilidade de agregados (IEA) em função da aplicação de resíduos agroindustriais em um Latossolo cultivado com *Panicum maximum* Cv. Mombaça.



As médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente ($p < 0,05$) entre os resíduos agroindustriais testados. Fonte: Autora (2024).

Diante disso, é possível inferir que os resíduos agroindustriais adicionados ao solo condicionaram o aumento nas médias de DMP a mais do que o observado em relação ao controle, em virtude da matéria orgânica ser um dos principais agentes responsáveis pela formação e estabilidade dos agregados, principalmente na camada superficial e em solos arenosos. Além disso, a alta relação C/N (Tabela 1) pode ser um indicativo da persistência

dessas melhorias em longo prazo como resultado do incremento de matéria orgânica. Outrossim, que fundamenta os resultados satisfatórios desta variável mesmo nos controles é a atividade biológica promovida, sobretudo, pelas raízes da cultivar Mombaça caracterizada pela exploração de um maior volume de solo, além de atuarem como agentes ligantes ao unir microagregados, também liberam exsudados na rizosfera que favorecem a proliferação de microorganismos que liberam outras substâncias ligantes resultando em melhorias na estruturação e agregação do solo.

A movimentação do solo apresenta efeitos benéficos em curto prazo para áreas cultivadas, o que pode justificar a potencialização no incremento das variáveis estudadas quando ocorreu a incorporação dos resíduos. Todavia, assim como as operações podem melhorar a aeração num primeiro momento, a longo prazo pode ocasionar a destruição da agregação e aumentar a densidade, em função da condição do solo no momento do preparo e também da intensidade e número de operações realizadas, dessa forma, a longo prazo a movimentação do solo tendem a acelerar a perda de matéria orgânica por oxidação e degradar a estrutura do solo. Sendo necessário realizar futuras avaliações, pois a adição dos resíduos e o cultivo do capim podem amenizar essas degradações físicas.

5.2 Distribuição radicular

A DMR do capim Mombaça na camada de 0-20 cm do solo aumentou 181,28% e 154,8% com a aplicação respectiva de biochar de pó de serragem ($12,32 \text{ kg/m}^3$) e pó de serragem ($11,16 \text{ kg/m}^3$) sem incorporação em relação aos controles, e 113,5% e 93,41% em detrimento da aplicação incorporada dos mesmos resíduos. Com a incorporação dos resíduos o biochar de caroço de açaí ($10,51 \text{ kg/m}^3$) propiciou maior incremento desta variável, correspondendo a 89,37% em relação ao controle. Na camada de 20-40 cm a não incorporação de biochar de pó de serragem ($0,37 \text{ kg/m}^3$) e de caroço de açaí triturado ($0,34 \text{ kg/m}^3$) favoreceram incremento de 270,0% e 240,0%, respectivamente, na DMR em relação ao controle, bem como aumentou 19,35% e 25,93%, respectivamente, em comparação com a aplicação dos mesmos resíduos incorporados. Embora com a incorporação os mesmos também apresentaram ganhos significativos de 93,75% e 68,75%, respectivamente, nesta variável em detrimento do controle, sendo os valores de DMR: 0,31 e $0,27 \text{ kg/m}^3$, respectivamente (Tabela 12).

Tabela 12 - Média \pm desvio padrão da densidade de massa radicular de capim Mombaça nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade de um Latossolo Amarelo após aplicação (com e sem incorporação) de resíduos agroindustriais da Amazônia, Porto Grande, Amapá, Brasil.

Tratamento	DMR (kg/m ³)		DMR (kg/m ³)	
	I	NI	I	NI
	Camada (0-20 cm)		Camada (20-40 cm)	
T0	5,55 bA \pm 0,64	4,38 cA \pm 1,11	0,16 dA \pm 0,01	0,10 cB \pm 0,01
T1	5,77 bB \pm 0,15	12,32 aA \pm 1,17	0,31 aB \pm 0,03	0,37 aA \pm 0,04
T2	10,51 aA \pm 1,37	7,27 bB \pm 0,58	0,26 bcA \pm 0,02	0,25 bA \pm 0,02
T3	5,77 bB \pm 0,18	11,16 aA \pm 0,81	0,21 cB \pm 0,02	0,28 bA \pm 0,02
T4	6,82 bA \pm 0,63	6,54 bA \pm 0,61	0,27 abB \pm 0,02	0,34 aA \pm 0,03

T0 = sem aplicação de resíduos; T1= biochar de pó de serragem (*Manilkara huberi*); T2 = biochar de caroço de açaí; T3 = pó de serragem de Maçaranduba; T4 = caroço de açaí triturado; NI (I1) = sem incorporação e I (I2) = com incorporação. As médias seguidas pela mesma letra minúscula, em coluna, não diferem estatisticamente entre os resíduos agroindustriais testados. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, em linha, não diferem entre si no fator incorporação. Teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Autora (2024).

Em estudo em casa de vegetação com aplicação de biochar de caroço de açaí incorporada ao solo, também foi observado incremento na massa seca de raízes de *P. purpureum* cv. BRS Kurumi e *P. maximum* cv. Mombaça com a aplicação desse resíduo em comparação ao controle (Oliveira, 2023). Assim como ao avaliar doses intermediárias de cinza vegetal (3; 6; 9 e 12 g dm⁻³) verificou-se que o capim-marandu cultivado em Latossolo Vermelho ultrapassou a produção da massa seca de raiz do capim quando cultivado em Argissolo Vermelho-Amarelo, demonstrando a importância do uso de cinza vegetal, principalmente, em solos de baixa fertilidade (Bezerra, 2013). Também em pesquisa com aplicação de cinza de biomassa de eucalipto em doses crescentes, aumentou-se linearmente o volume de raízes de Massai por vaso, em virtude também das melhorias nutricionais favorecidas pelo resíduo, todavia é relatado que houve barreira física (vaso) pode ter interferido numa resposta maior de crescimento das raízes (Moretti Neto, 2020).

Chang *et al.* (2021) ao estudar os efeitos do biochar à base de madeira de pinho nas propriedades físicas do solo e no crescimento das raízes de uva muscadine, observaram o fortalecimento da arquitetura e o aumento do comprimento da raiz, com indicativos de que o biochar pode estimular o desenvolvimento de raízes finas dessa cultura e melhorar a estrutura de solos arenosos, constituindo uma boa estratégia para lidar com a perda de água e com problemas relacionados à erosão.

Assim, como outros estudos com diferentes culturas têm comprovado incremento na biomassa da raiz a partir do aumento da taxa de aplicação de biochar no solo, uma vez que ocasiona o aumento da matéria orgânica do solo, nitrogênio, fósforo e outros nutrientes, bem como melhorias físicas, promovendo assim o crescimento da raiz (Zou *et al.*, 2021). Pesquisas relacionadas à distribuição radicular de cultivos agrícolas submetidas à aplicação de resíduos de serragem de madeira e de caroço de açaí triturado sem o processo de carbonização são escassas. De modo geral, ainda tem sido investigado com a finalidade de produção de substratos, a exemplo do estudo de adição de caroço de açaí triturado com inoculação para produção de mudas de Paricá, no qual a adição de 75% de substrato de caroço de açaí triturado incrementou a produção de biomassa radicular das mudas de Paricá em 60% em relação ao controle (Alves, 2022).

Estes resultados de investigações encontrados na literatura corroboram com os encontrados nesta pesquisa, que se relacionam com as melhorias físicas proporcionadas pela aplicação desses resíduos ao solo, evidenciadas anteriormente, como: redução da densidade do solo, aumento da porosidade total e estabilidade de agregados, que promovem um ambiente favorável para o desenvolvimento radicular. Além disso, evidencia-se com o aumento da distribuição radicular do Mombaça em superfície e subsuperfície, os benefícios da aplicação desses resíduos e a necessidade da investigação a longo prazo, para inferir se ocorrerá aumento ou manutenção dessa distribuição com a estabilização do C e, conseqüentemente, outras melhorias na qualidade física do solo em função da atividade e distribuição radicular da cultura.

5.3 Crescimento do capim Mombaça

A responsividade da AT nos tratamentos com aplicação dos resíduos foi superior aos controles. Quando ocorreu aplicação em superfície, todos os tratamentos testados proporcionaram incrementos de 8,82% a 14,71%, enquanto ao realizar a incorporação o caroço de açaí (1,97 m) promoveu ganho de 7,65% nesta variável em comparação com o controle (1,83 m) (Tabela 13). O capim Mombaça é uma Poaceae perene, cespitosa e de porte alto, assim suas touceiras atingem em média 1,65 m de altura.

Os resultados desta pesquisa contrastam com os resultados obtidos em estudos conduzidos em ambientes controlados, como o cultivo em vaso de *P. purpureum* cv. BRS Kurumi e *P. maximum* cv. Mombaça em solo incorporado com biochar de caroço de açaí, no qual não foi observado incremento nesta variável em ambas as espécies avaliadas quando

comparado ao tratamento, que não recebeu adição do resíduo (Oliveira, 2023). Assim como investigações com aplicação de cinza de biomassa de eucalipto no cultivo de capim Massai (Moretti Neto, 2020) e efeito de doses de carvão vegetal em Argissolo e Latossolo cultivados com capim Marandu no segundo corte após 30 dias do primeiro rebrote (Bezerra, 2013), nos quais constatou-se que a aplicação desses resíduos não foi capaz de influenciar ganhos de altura em ambos os capins cultivados.

O DC do Mombaça aumentou 7,55% com a aplicação em superfície do pó de serragem (12,82 mm), semelhantemente o controle (11,92 mm) e caroço de açaí triturado (11,71 mm) proporcionaram ganhos nesta condição, com a incorporação dos resíduos obteve-se incremento de 25,74% dessa variável com o biochar de caroço de açaí (12,31 mm), semelhantemente o caroço de açaí triturado (10,61 mm) e pó de serragem (10,48 mm), favoreceram os respectivos ganhos de 8,38% e 7,95%, embora este último tenha sido mais eficiente quando não incorporado ao solo (Tabela 13). O diâmetro do colmo é essencial para garantir a estabilidade estrutural dos vegetais, ao sustentar folhas e inflorescências e, ao mesmo tempo, permitir o crescimento da planta e maximização da captação de luz.

Os resultados desta variável contrastaram, mais uma vez, com os achados em estudos realizados em ambientes controlados. A adição de biochar de caroço de açaí ao solo não influenciou o incremento do DC em pesquisas com BRS Kurumi e Mombaça (Oliveira, 2023), assim como a aplicação de biochar de eucalipto com BRS Capiacu e BRS Kurumi também não favoreceu ganhos para esta variável (Silva, 2022). Todavia, em estudo conduzido a campo com cultivo de capim-elefante submetido à aplicação de resíduo de manipueira, observou-se incremento de 11,63% no diâmetro do colmo, em relação ao controle, constatando o maior diâmetro de 15,45 mm (Danino, 2020).

O biochar de caroço de açaí adicionado sem incorporação ao solo (62,00) aumentou 35,05% o NP do capim Mombaça, seguido semelhantemente do pó de serragem (60,75) e caroço de açaí triturado (59,00), com 31,35% e 27,57%, respectivamente, enquanto com a incorporação dos resíduos ao solo, o biochar de pó de serragem (62,00) aumentou 42,86% o NP em detrimento do controle (42,00), semelhantemente o caroço de açaí (56,00) propiciou incremento de 33,33% para esta variável. O potencial de perfilhamento é uma característica altamente desejável em plantas forrageiras, em geral, um maior número de perfilhos resulta em um maior número de folhas, dessa forma influencia a produção e qualidade das forrageiras.

Oliveira (2023) também observou aumento no número de perfilhos de Mombaça ao adicionar concentrações de biochar ao solo, no qual as concentrações de 0,2; 0,375 e 0,5%

proporcionaram um maior número de perfilhos para as plantas, sendo 12,87; 14,87 e 15,62 perfilhos, respectivamente. Em estudo com efeito de doses de carvão vegetal em Argissolo e Latossolo cultivados com capim Marandu até o segundo corte não houve influência do biochar (30 dias após o rebrote), todavia no terceiro corte houve incremento no perfilhamento de 52,38 e 53,66% em Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho-Amarelo, respectivamente com a adição de cinza vegetal em detrimento da ausência de aplicação desse resíduo (Bezerra, 2013).

Tabela 13 - Média \pm desvio padrão da altura, diâmetro do colmo (DC), número de perfilhos (NP) de capim Mombaça cultivado em Latossolo Amarelo do cerrado amapaense após aplicação (com e sem incorporação) de resíduos agroindustriais da Amazônia, na fazenda experimental do IFAP, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.

Trat.	AT (m)		DC (mm)		NP	
	I	NI	I	NI	I	NI
T0	1,83bA \pm 0,06	1,70bB \pm 0,05	9,79bB \pm 0,32	11,92abA \pm 0,54	42,00cA \pm 5,48	46,25 cA \pm 5,01
T1	1,85abA \pm 0,03	1,85aA \pm 0,08	9,88bB \pm 0,11	11,48abA \pm 0,68	62,00aA \pm 3,98	52,25bcB \pm 1,26
T2	1,82bA \pm 0,08	1,91aA \pm 0,05	12,31aA \pm 1,97	10,63bB \pm 0,62	47,50bcB \pm 3,88	62,00 aA \pm 4,58
T3	1,90abA \pm 0,06	1,88aA \pm 0,07	10,48abB \pm 0,76	12,82aA \pm 0,35	50,25bcB \pm 2,54	60,75abA \pm 1,62
T4	1,97aA \pm 0,02	1,95aA \pm 0,05	10,61abA \pm 0,75	11,71abA \pm 1,04	56,00abA \pm 6,81	59,00abA \pm 2,28

Trat. = Tratamento; T0 = sem aplicação de resíduos; T1= biochar de pó de serragem (*Manilkara huberi*); T2 = biochar de caroço de açaí; T3 = pó de serragem de Maçaranduba; T4 = caroço de açaí triturado; NI (I1) = sem incorporação e I (I2) = com incorporação. As médias seguidas pela mesma letra minúscula, em coluna, não diferem estatisticamente entre os resíduos agroindustriais testados. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, em linha, não diferem entre si no fator incorporação. Teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Autora (2024).

Ao realizar a aplicação dos resíduos na superfície do solo todos os tratamentos testados proporcionaram incrementos no NFV, variando de 25,55% (186,75) a 27,56% (189,75) em relação ao controle (148,75). Enquanto ao realizar a incorporação dos resíduos o biochar de pó de serragem propiciou maior NFV (213,75), inclusive sendo superiores 13,1% nesta condição quando comparado com a aplicação do mesmo resíduo em superfície (189,0), o pó de serragem e caroço de açaí triturado quando incorporados ao solo também apresentaram NFV similares ao obtido após aplicação do biochar do pó de serragem, sendo 193,0 e 189,0, respectivamente (Tabela 14).

O NFS reduziu 48,48% com a aplicação de pó de serragem em superfície (4,25) em comparação ao controle (8,25). Ao comparar os modos de aplicação foi observado que o biochar do pó de serragem e o biochar de caroço de açaí favoreceram a redução do NFS em 35,48%, e 28,57%, respectivamente, quando ocorreu a incorporação destes no solo (5,0 em ambos) em

detrimento de quando foram aplicados sem incorporação, apresentando valores de 7,75 e 7,00, respectivamente (Tabela 14).

A aplicação do caroço de açaí triturado e biochar de pó de serragem sem incorporação ao solo resultaram no menor NFM, 37,25 e 37,50, respectivamente, todavia as médias não difeririam estatisticamente da aplicação do pó de serragem (44,25) e do controle (42,00). Não houve influencia entre os resíduos aplicados quando ocorreu a incorporação destes, todavia houve diferença no NFM em relação às formas de aplicação do biochar de caroço de açaí, que quando foi incorporado ao solo (34,75) apresentou redução de 40,09% em detrimento da aplicação em superfície (58,00) (Tabela 14).

A quantificação e, sobretudo, a distinção de folhas verdes, senescentes e mortas são fundamentais para indicar a qualidade das pastagens. Assim, folhas verdes, geralmente são mais nutritivas, em virtude da maior concentração de proteínas, vitaminas e minerais, além de menor concentração de fibras, sendo mais digestíveis. Enquanto, as folhas senescentes apresentam a perda do valor nutricional, dessa forma ocorre a diminuição dos nutrientes e aumento das fibras, reduzindo a digestibilidade animal. Por fim, as folhas mortas possuem valor nutricional muito baixo, sendo ricas em fibras e lignina e, portanto, a digestibilidade e palatabilidade são muito difíceis (Lima, 2010).

Assim, embora o NFM não tenha reduzido com a aplicação dos resíduos, a aplicação dos tratamentos reduziu o NFS e aumentou o NFV, o que indica que a aplicação desses resíduos agroindustriais induz melhorias na qualidade das pastagens.

Dentre os experimentos conduzidos em ambiente controlado, onde se investigou a aplicação de biochar em Latossolo e Argissolo cultivados com capim-marandu foi obtido incremento no primeiro e segundo corte para o número de folhas, sobretudo quando cultivado em Argissolo, todavia a aplicação do resíduo também aumentou o potencial de produção do Latossolo, corroborando os resultados deste estudo (Bezerra, 2013). Contudo, quando avaliado os efeitos da incorporação de biochar de açaí ao solo na produção de folhas de BRS Kurumi e Mombaça, não foi observado influencia deste sobre esta variável (Oliveira, 2023). Assim como ao avaliar o número de folhas de cultivares de capim elefante submetidas a diferentes doses de biochar de eucalipto também não se observou influência da adição desse resíduo (Silva, 2022). Pesquisas que realizem a distinção das folhas, sobretudo, em avaliações com reaproveitamento de resíduos são escassos, sendo necessária a realização para uma avaliação mais precisa dos efeitos na qualidade da planta.

Tabela 14 - Média \pm desvio padrão do número de folhas verdes (NFV), senescentes (NFS) e mortas (NFM) de capim Mombaça cultivado em Latossolo Amarelo do cerrado amapaense após aplicação (com e sem incorporação) de resíduos agroindustriais da Amazônia, na fazenda experimental do IFAP, no município de Porto Grande, Amapá, Brasil.

Trat.	NFV		NFS		NFM	
	I	NI	I	NI	I	NI
T0	147,75bA \pm 12,89	148,75bA \pm 8,27	7,25aA \pm 1,20	8,25aA \pm 0,99	35,50aA \pm 5,73	42,00bA \pm 3,09
T1	213,75aA \pm 6,99	189,00aB \pm 3,42	5,00aB \pm 0,86	7,75aA \pm 1,44	37,00aA \pm 4,51	37,50bA \pm 2,41
T2	149,50bB \pm 6,74	186,75aA \pm 13,88	5,00aB \pm 0,90	7,00aA \pm 1,29	34,75aB \pm 7,72	58,00aA \pm 9,20
T3	193,00aA \pm 22,45	187,25aA \pm 13,19	6,25aA \pm 1,02	4,25bB \pm 0,56	41,50aA \pm 2,69	44,25bA \pm 6,12
T4	189,00aA \pm 5,08	189,75aA \pm 14,52	6,00aA \pm 1,97	7,00aA \pm 1,70	30,00aA \pm 8,13	37,25bA \pm 8,66

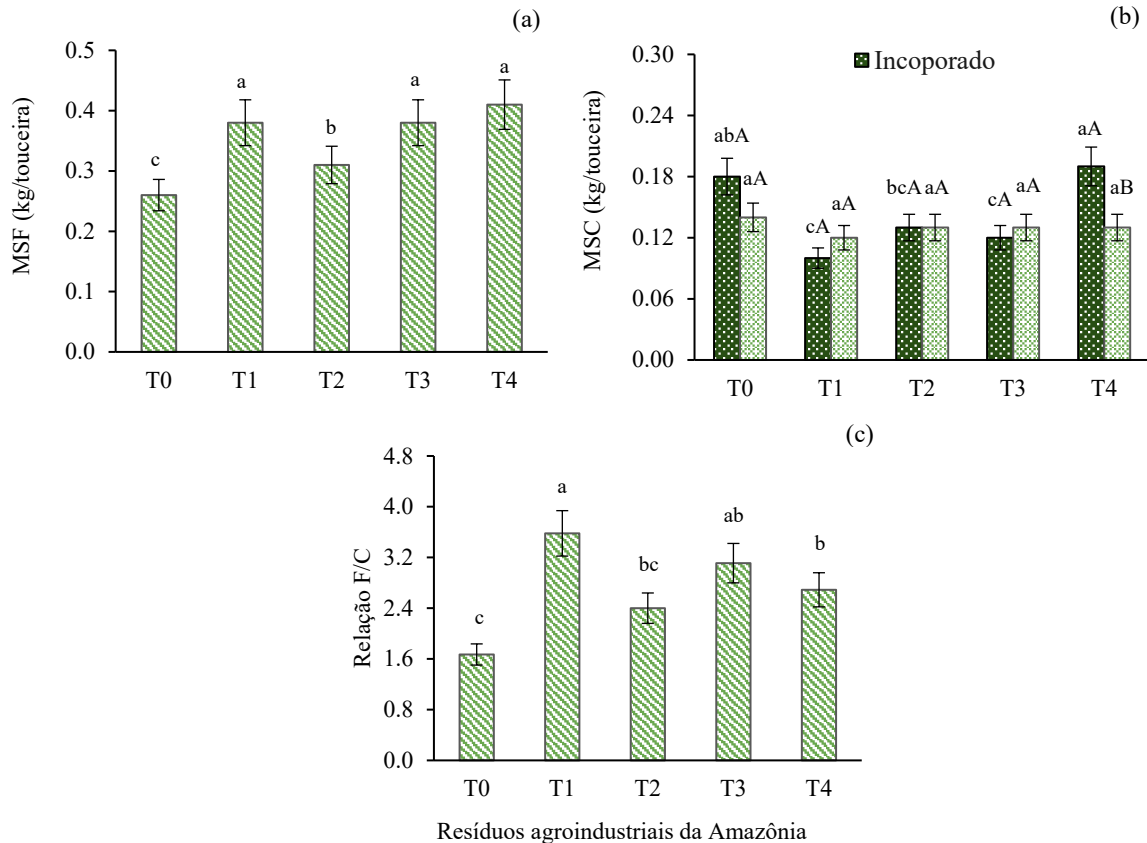
Trat. = Tratamento; T0 = sem aplicação de resíduos; T1= biochar de pó de serragem (*Manilkara huberi*); T2 = biochar de caroço de açaí; T3 = pó de serragem de Maçaranduba; T4 = caroço de açaí triturado; NI (I1) = sem incorporação e I (I2) = com incorporação. As médias seguidas pela mesma letra minúscula, em coluna, não diferem estatisticamente entre os resíduos agroindustriais testados. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, em linha, não diferem entre si no fator incorporação. Teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: A autora (2024).

Esses ganhos biométricos foram propiciados não somente em relação às melhorias físicas observadas neste estudo, como também em relação aos incrementos nutricionais em decorrência da aplicação dos resíduos agroindustriais, conforme Tabela 1. Todavia, a escassez de ensaios de pesquisas conduzidos em campo, evidencia a necessidade de investigações nesta condição, tendo em vista que as variações das propriedades do solo, clima e ambiente, implicam em variações de respostas.

5.4 Produção de matéria seca do capim Mombaça

Houve incremento de 46,15%, 46,15% e 57,69%, respectivamente, na MSF do capim Mombaça com a adição de biochar do pó de serragem (0,38 kg/touceira), pó de serragem (0,38 kg/touceira) e caroço de açaí triturado (0,41 kg/touceira) ao solo (Figura 25a). Para a produção de MSC o biochar de pó de serragem (0,10 kg/touceira) e o pó de serragem (0,12 kg/touceira) incorporados ao solo apresentaram produções satisfatórias, com as respectivas reduções de 44,44% e 33,33% em relação ao controle (Figura 25b) que propiciaram maior relação F/C do capim Mombaça, 3,58 e 3,11, respectivamente, correspondendo a incrementos de 114,37% e 86,23% nesta variável (Figura 25c).

Figura 25 - Massa seca da folha (MSF) (a), massa seca do colmo (b) e relação folha/colmo (c) em função dos resíduos agroindustriais em função da aplicação de resíduos agroindustriais em um Latossolo cultivado com *Panicum maximum* Cv. Mombaça.



As médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente ($p < 0,05$) entre os resíduos agroindustriais testados. Fonte: Autora (2024).

Em estudo objetivando avaliar o impacto de diferentes insumos na qualidade do solo e na produtividade de cultivares de *Brachiaria*, observaram-se maior produção de biomassa para Piatã e Marandu com aplicação de biochar (30t/ha) (Latawiec *et al.*, 2023). Assim como ao avaliar o efeito de 5 doses de biocarvão (0, 5, 10, 20 e 60 Mg ha⁻¹) de casca de coco sobre a produtividade do milho, observaram-se que independente da taxa de aplicação, ocorreu aumento da biomassa das plantas em cerca de 90%, quando comparado ao controle (Gonzaga *et al.*, 2018). Todavia, em investigação com doses (0; 0,5; 1; 5; 10 Mg ha⁻¹) de biocarvão de madeira sobre a produção de biomassa de milho não foi observado incremento (Pereira, 2019).

Singh *et al.* (2022) ao realizarem uma meta-análise relataram que diversos estudos incluindo as culturas de trigo, milho, canola, cevada, arroz, sorgo, tomate, amendoim, fava, nabo e amendoim tiveram o rendimento aumentado significativamente com as aplicações de biochar em comparação com o controle. Segundo os mesmos autores, entre os tipos de matéria-prima, que possibilitaram os aumentos nos rendimentos das culturas foram biochar's

desenvolvidos a partir de resíduos lignocelulósicos (35%) e matérias-primas herbáceas (53%), destacando que não houve efeito significativo nos rendimentos para biochar de madeira (17%). Os autores também destacam que a aplicação de biochar aumentou significativamente ($p < 0,05$) os rendimentos das culturas em solos finos (40%) e de textura grossa (57%), não sendo observado aumento significativo em solos de textura média (9%).

Na produção de forrageiras, o aumento da produção de colmo não é favorável, pois de modo geral reduz o valor nutritivo, além de apresentar menor digestibilidade, resultando em perdas na alimentação animal. Para a relação F/C números superiores a 1 indicam uma relação favorável para produção de forrageiras (Tomich *et al.*, 2002), esse parâmetro é fundamental para inferir a qualidade de uma forrageira, tendo em vista o maior valor nutritivo encontrado para as folhas, quando comparado com os colmos. Assim, os resultados de produção de Mombaça obtidos nesta pesquisa são satisfatórios e indicam elevação da qualidade na produção com a aplicação dos resíduos, tendo em vista o aumento da produção de MSF em comparação com o controle, bem como a elevada relação F/C que foi 258% e 211% maiores que o limite mínimo indicado para este parâmetro.

Dessa forma, é possível inferir os benefícios nos atributos físicos do solo, em função da aplicação dos resíduos agroindustriais, influenciaram positivamente a produção do capim Mombaça, uma vez que se correlacionam com melhorias no movimento de ar e água no solo, facilitando o crescimento das raízes e, conseqüentemente, a absorção de nutrientes, que também foram incrementados ao solo através desses resíduos (Tabela 1). Outrossim, a facilidade de acesso para aquisição desses resíduos na região sugere uma viabilidade econômica para uso destes na promoção de sistemas de manejos mais eficientes e sustentáveis.

6 CONCLUSÕES

A diversificação do sistema de manejo, através da aplicação (com e sem incorporação) de resíduos agroindustriais induz melhorias nos indicadores de qualidade física do solo, na distribuição radicular e no ganho produtivo, tendo em vista o incremento na produção de biomassa do capim Mombaça.

Os resíduos de caroço de açaí triturado, pó de serragem, biochar de açaí e biochar de serragem, respectivamente, podem ser indicados para manejos do solo visando à melhoria da qualidade física. Além disso, visando incrementos de crescimento e produção do Mombaça,

indica-se o uso respectivo do pó de serragem, caroço de açaí triturado, biochar de açaí e biochar de serragem.

De modo geral, a incorporação dos resíduos produziu efeitos benéficos a curto prazo tanto para a melhoria física do solo, quanto para produção do capim. Todavia, ainda é necessária a condução de pesquisas em condições de campo, uma vez que a maioria dos estudos têm sido desenvolvidos em ambientes controlados. Ademais, também é preciso investigar os efeitos da aplicação destes resíduos na macro e microporosidade do solo, em solos de diferentes texturas, nos atributos biológicos e químicos do solo, na nutrição mineral de plantas e bromatologia das pastagens, bem como os impactos na compensação de emissões de gases de efeito estufa (sequestro de carbono); bem como, avaliar o tempo de estabilização desses resíduos, principalmente do biochar, para a utilização como condicionador das propriedades do solo.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE CORDEIRO, M. *et al.* Hidrólise enzimática do caroço de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) para a produção de etanol. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.8, n.1, p. 122-152, 2019.
- 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.
- ALVES, A. C. **Caroço de açaí como substrato e rizobactérias no desenvolvimento de mudas de Paricá** (*Schizolobium parahyba* var. *Amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby). 2022. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém-PA, 2022.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR., W. **AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos**. Versão 1.1.0.695. CD-ROM. 2011.
- BARBOSA, R. S. **Sistema radicular e atributos físicos do solo sob diferentes preparos em citros**. 2011. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola: Área de Concentração em Água e Solo) - Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2011.
- BARROS, A. C. C. **Estoque de massa seca de raiz em pastos de Capim-Florico manejadas sob intensidades de pastejos**. 2014. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciências: Área de Concentração em Zootecnia). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2014.
- BEZERRA, M. D. L. **Cinza vegetal como corretivo e fertilizante no cultivo de capim-marandu em solos do cerrado mato-grossense**. 2013. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2013.
- BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin, Springer-Verlag, 1979.
- BORGHI, E. *et al.* Recuperação de pastagens degradadas. *In*: NOBRE, M. M.; OLIVEIRA, I. R. de (Ed.). **Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. cap. 4, p. 105-138.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 686 p.
- BRASIL, E. C.; CRAVO, M. da S.; VIEGAS, I. de J. M. **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 419 p.
- BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Política Nacional de Resíduos Sólidos, 2010.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Como o Programa Nacional de Pastagens Degradadas atuará para a conservação do solo**. Brasília: MAPA, 2024a Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/como-o-programa-nacional-de-pastagens-degradadas-atuara-para-a-conservacao-do->

CONSENTINE, P. J.; MARINHO, A. S. S. **Cerrados amazônicos: uma breve discussão sobre a vegetação de cerrado na Amazônia brasileira durante o quaternário.** Universidade do Estado do Amazonas, Amazonas, 2018.

COSTA, A. C. D. **Qualidade física e química do solo em função da aplicação de Biocarvão de sementes de açaí.** 2021. 42 f. Trabalho de conclusão (Graduação em Agronomia). Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, 2021a.

COSTA, M. V. **Biocarvões de resíduos de caroço de açaí e castanha-do-brasil como condicionantes de solo características químicas.** 2021. 42 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2021b.

COSTA, N. L. *et al.* **Formação e manejo de pastagens de Capim-Mombaça em Rondônia.** EMBRAPA: Recomendações técnicas. Nº 27, jul./01, 2001. 2 p. (Embrapa Rondônia. Recomendações Técnicas, 27).

DANINO, G. S. **Produção de capim-elefante submetido à doses crescentes de manipueira.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) - Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, 2020.

DE MARIA, I. C.; BERTOL, I.; DRUGOWICH, M. I. Práticas conservacionistas do solo e da água. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. da S. **Manejo e conservação do solo e da água.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. 1355 p.

DIAS-FILHO, M. B.; LOPES, M. J. S. Manejo do solo em pastagens. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. da S. **Manejo e conservação do solo e da água.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. 1355 p.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 402).

DIAS, Y. N. *et al.* Biochar produced from Amazonian agro-industrial wastes: Properties and adsorbent potential of Cd²⁺ and Cu²⁺. **Biochar**, v. 1, p. 389-400, 2019.

EL HALIM, A. A.; EL BAROUDY, A. A. Influence addition of fine sawdust on the physical properties of expansive soil in the Middle Nile Delta, Egypt. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 14, n. 2, p. 483-490, 2014.

ERANA, F. G.; TENKEGNA, T. A.; ASFAW, S. L. Effect of agro industrial wastes compost on soil health and onion yields improvements: study at field condition. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 8, p. 161-171, 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.

FACHIN, P. A.; JUNIOR, E. V. G.; THOMAZ, E. L. Comparação entre dois modelos de Agitador de Yoder na avaliação da estabilidade de agregados de solo (Comparison between two models of Yoder Stirrer in the evaluation of soil aggregate stability). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 2, p. 697-704, 2019.

FERREIRA-LEITAO, Viridiana et al. Biomass residues in Brazil: availability and potential uses. **Waste and Biomass Valorization**, v. 1, p. 65-76, 2010.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Qualidade física do solo em pomar de laranja no noroeste do paraná com manejo da cobertura permanente na entrelinha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.3, p.423-433, 2007.

FIGUEIRA, C. C. O. **O setor madeireiro no Município de Porto Grande, Amapá, Amazônia Oriental**: extra o e processamento de madeira nativa em floresta de terra firme. Disserta o (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2019.

FOGAÇA, A. M. *et al.* **Influência do biochar na disponibilidade de água de um Latossolo**. In: Reunião Paranaense De Ciência Do Solo, 6., 2019, Ponta Grossa. O desafio da produ o agropecuária com baixo impacto ambiental: anais... Ponta Grossa: UEPG/PROEX, 2019. p. 326-329.

GŁAB, T. *et al.* Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. **Geoderma**, v. 281, p. 11-20, 2016.

GOMIDE, C. D. M. et al. ***Panicum maximum* cvs. Tanzânia e Mombaça para uso em pastejo: produ o e custo**. Circular Técnica 113. Juiz de Fora- MG: EMBRAPA, 2016. 7 p. (Embrapa Gado de Leite. Circular Técnica, 113).

GONZAGA, M. I. S. *et al.* Positive and negative effects of biochar from coconut husks, orange bagasse and pine wood chips on maize (*Zea mays* L.) growth and nutrition. **Catena**, v. 162, p. 414-420, 2018.

GUERRA, A. T.; JORGE, M. C. O. **Degrada o dos solos no Brasil**. Editora Bertrand. Brasil, 2018. 320 p.

HARDIE, M. *et al.* Does biochar influence soil physical properties and soil water availability? **Plant Soil**, 376 (1-2), 347-361, 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo agro 2017. Resultados definitivos. **Ranking - Todos do Amapá por Efetivo do rebanho por cabeça**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produ o da extra o vegetal e silvicultura**. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html>>. Acesso em: 16 jun. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2018**. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2018a.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produ o da extra o vegetal e silvicultura**. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, v. 32, 2018b.

JARDINI, D. C. *et al.* Atributos físicos e químicos de um Latossolo submetido a fontes e doses de resíduos agroindustriais. **Connection Line-Revista Eletrônica do Univag**, v. 30, n. 30, p. 105-120, 2023.

JEFFERY, S. *et al.* Biochar application does not improve the soil hydrological function of a sandy soil. **Geoderma**, v. 251–252, p. 47–54, 2015

KAISER, D. R.; SILVA, V. R. Água no solo. In: ALBUQUERQUE, J. A.; GUBIANI, P. I. **Física do solo**. Santa Maria: Pallotti, 2023, 344 p.

KÄMPF, N.; CURI N. Conceito de solo e sua evolução histórica. In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E.; TORRADO, P. V. (Ed.). **Pedologia: fundamentos**. Viçosa, MG: SBCS, 2012, 343 p.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relação solo-água-plantas**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 262p.

KLEIN, V. A. **Física do Solo**. 3. ed. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2014. 263 p.

LARA, R.; PEREIRA, I; SILVA, M. Caracterização química, física e elementar de substratos oriundos da mineração de ferro em Conceição do Mato Dentro–MG. **Agrarian Academy**, v. 4, n. 08, p. 93-103, 2017.

LATAWIEC, A. E. *et al.* Biochar and Forage Peanut improve pastures: Evidence from a field experiment in Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 353, p. 108-534, 2023.

LIMA, C. L. R.; KAISER, D. R. Estrutura e agregação do solo. In: ALBUQUERQUE, J. A.; GUBIANI, P. I. **Física do solo**. Santa Maria: Pallotti, 2023. 344 p.

LIMA, J. B. M. P. **Suplementação de novilhos nelore no período de transição águas-seca em pastagens de capim-piatã diferidas**. 2010. 143 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas, Belo Horizonte, 2010.

MELEM JUNIOR, N. J.; DE FARIAS NETO, J. T.; YOKOMIZO, G. K. I. **Caracterização dos cerrados do Amapá**. Macapá: Embrapa Amapá, 2003. 5 p. (Embrapa Amapá. Comunicado técnico, 105).

MICHELON, C. J. *et al.* Densidade e porosidade do solo. In: ALBUQUERQUE, J. A.; GUBIANI, P. I. **Física do solo**. Santa Maria: Pallotti, 2023. 344 p.

MIRANDA, L. D. V. A. *et al.* Descarte e destino final de caroços de açaí na Amazônia Oriental-Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v. 25, p. 1-22, 2022.

MONTEIRO, K. F. G. *et al.* **Caracterização dos Argissolos amarelos com adição de resíduos de madeira: uma alternativa de uso como cobertura em solos da Amazônia paraense**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais, Belém, v. 1, n. 1, p. 139-148, 2006.

MORETTI NETO, M. J. **Cinza de biomassa de eucalipto como corretivo de acidez de solo e fonte de nutrientes para o capim massai inoculado ou não com *Azospirillum brasilense***.

2020. 142 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Unesp, Ilha Solteira/SP, 2020.

NIMMO, J. R.; PERKINS, K. S. 2.6 Aggregate stability and size distribution. **Methods of soil analysis: part 4 physical methods**, v. 5, p. 317-328, 2002.

NOBRE, M. M.; OLIVEIRA, I. R. **Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 194 p.

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.

OBIA, A. *et al.* In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 35-44, 2016.

OLIVEIRA, C. F. **Biochar de resíduos de açaí como condicionador do solo na produção e nutrição de plantas forrageiras**. 2023. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá/Campus Porto Grande, Porto Grande/AP, 2023.

OLIVEIRA, D. M. C. **Preparação, caracterização e avaliação da incorporação de biochar ao solo para germinação de sementes de *Pinus Elliottii***. 2017. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais: Área de concentração em Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2017.

OLIVEIRA, J. S. *et al.* **Produção de forragem em pastos de *Panicum maximum* Jacq. em função do tempo de rebrotação**. XII Congresso Nordestino de Produção Animal. Juazeiro-BA, 2017.

OLIVEIRA, A. B. *et al.* Morfogênese do capim-tanzânia submetido a adubações e intensidades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 1006-1013, 2007.

ONU Brasil. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Brasília, DF. 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>

PACHECO, L. B. **Biochar na fertilidade do solo, morfometria e produção do capim elefante**. 2022. 59 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação no Cerrado) - Instituto Federal de Educação Goiano, Ceres/GO, 2022.

PEDREIRA, B.; SOLLENBERGER, L. E. **Pastagens a serviço da sociedade**. Embrapa Trigo: Passo Fundo/RS. 2020.

PEREIRA, J. R. C. **Potencial do biocarvão para a produção de milho e melhoria da qualidade do solo**. 2019. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental para o Semiárido) - Universidade de Pernambuco Campus Petrolina. Petrolina/PE, 2019.

PESSOA, J. D. C.; TEIXEIRA, G. H. A. **Tecnologias para inovação nas cadeias euterpe**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 343 p.

RAIJ, B. V. *et al.* **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.

RAMIREZ, R. *et al.* Transformation of residual açai fruit (*Euterpe oleracea*) seeds into porous adsorbent for efficient removal of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid herbicide from waters. **Molecules**, v. 27, n. 22, p. 1-17, 2022.

RAMOS, W. F. **Gestão, geração e aproveitamento dos resíduos das indústrias de base florestal na Região Metropolitana de Belém, Pará.** 2016. 99 f. Dissertação (Ciências Ambientais) - Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, Pará, 2016.

REDIN, M. *et al.* Plantas de cobertura de solo e agricultura sustentável: espécies, matéria seca e ciclagem de carbono e nitrogênio. In: Tiecher, T. **Práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água.** Porto Alegre: UFRGS, 2016. 186 p.

RIBEIRO, H. **Influência da adição de biochar sobre as modificações das propriedades físicas de um Latossolo Amarelo Distrófico da Amazônia Central.** 2020. 52 f. Dissertação (Agricultura no Trópico Úmido). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA. Manaus, 2020.

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.** 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS JÚNIOR, J. M. **Pellets de biochar como condicionador de solo na produção e nutrição de *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás.** 2022. 59 f. Dissertação (Produção Vegetal) - Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros/MG, 2022.

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

SATO, M. K. **Biocarvão de resíduos de açai como condicionante de solos.** 2018. 73 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém/PA, 2018.

SILVA, A. S. *et al.* Agronomic characteristics and radicular diagnosis of tropical poaceae cultivars by image processing. In: **Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215.** 2020. p. 14-22.

SILVA, D. A. *et al.* Caracterização de biomassas para a briquetagem. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 4, p. 713 – 722, 2015.

SILVA, P. S. F. **Desempenho morfométrico e produtivo de cultivares de capim elefante sobre diferentes doses de biochar.** 2022. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Instituto Federal Goiano. Ceres/GO. 2022

SINGH, H. *et al.* Biochar applications influence soil physical and chemical properties, microbial diversity, and crop productivity: a meta-analysis. **Biochar**, v. 4, n. 1, p. 1-17, 2022.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

TESTEZLAF, R.; COLETTI, C.; MATSURA, E. E. Distribuição de raízes da laranja 'Valência' irrigada por autopropelido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 905-908, 2007.

TOMICH, T. R. *et al.* **Produções de matéria natural e de matéria seca e relação folha/colmo de vinte e cinco híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*) com capim sudão (*Sorghum sudanense*) utilizados para produção de forragem em regime de corte**. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife. A produção animal e a sociedade brasileira: anais. Recife: UFRPE: SBZ, 2002.

UNITED NATIONS CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION. **The Global Land Outlook**, second edition. UNCCD, Bonn, 2022.

VAZ JUNIOR, S. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais: uma abordagem sustentável**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 26 p. (Embrapa Agroenergia / Documentos, 31)

VEIGA, M. **Metodologia para coleta de amostras e análises físicas do solo**. Florianópolis: Epagri, 2011. 52 p.

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**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2017. 48 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 429).

VOGELMANN, E. S.; BRAIDA, J. A.; DRESCHER, M. S. Indicadores de qualidade física do solo. In: ALBUQUERQUE, J. A.; GUBIANI, P. I. **Física do solo**. Santa Maria: Pallotti, 2023.

WANI, F. S.; KHAN, A. M.; JEELANI, J. Prospects of Agro-Industrial Waste for Sustainable Soil Productivity-A Review, **Indian Journal of Pure & Applied Biosciences**, v. 5, n. 4, p. 577-581, 2017.

ZIMMER, A. H. *et al.* **Degradação, recuperação e renovação de pastagens**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2012. 46 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 189)

ZOU, Z. *et al.* Response of plant root growth to biochar amendment: a meta-analysis. **Agronomy**, v. 11, n. 12, p. 1-14, 2021.