



**UNIVERSIDADE CEUMA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
BIODIVERSIDADE E BIOTECNOLOGIA – REDE
BIONORTE**



**A OTIMIZAÇÃO E CONTROLE DOS FATORES REGULADORES DO
PROCESSO DE COMPOSTAGEM, PARA POTENCIALIZAÇÃO DA
RECICLAGEM DE RESÍDUOS ORGÂNICOS.**

OSMAN JOSÉ DE AGUIAR GERUDE NETO

São Luís – MA

2024

OSMAN JOSÉ DE AGUIAR GERUDE NETO

**A OTIMIZAÇÃO E CONTROLE DOS FATORES REGULADORES DO
PROCESSO DE COMPOSTAGEM, PARA POTENCIALIZAÇÃO DA
RECICLAGEM DE RESÍDUOS ORGÂNICOS.**

Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Doutorado
do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e
Biotecnologia da Rede BIONORTE, na Universidade
CEUMA como requisito parcial para a obtenção do Título
de Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia.

Orientador (a): Prof. Dra. Rita de Cássia Mendonça de
Miranda

São Luís – MA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação Universidade
CEUMA
Rede de Bibliotecas CEUMA
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo (a) autor (a)

Neto, Osman José De Aguiar Gerude

A otimização e controle dos fatores reguladores do processo de compostagem, para potencialização da reciclagem de resíduos orgânicos. / Osman José De Aguiar Gerude Neto. - São Luís: Universidade CEUMA, 2024.

99 p.; il., color.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE (PPG-BIONORTE). Universidade CEUMA, 2024.

1. Biotecnologia 2. Compostos Orgânicos 3. Resíduos 4. Reciclagem. I. Título. II. Rita de Cássia Mendonça Miranda (Orientadora).

OSMAN JOSÉ DE AGUIAR GERUDE NETO

**A OTIMIZAÇÃO E CONTROLE DOS FATORES REGULADORES DO
PROCESSO DE COMPOSTAGEM, PARA POTENCIALIZAÇÃO DA
RECICLAGEM DE RESÍDUOS ORGÂNICOS.**

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do
Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e
Biotecnologia – Rede BIONORTE, na Universidade
Estadual do Maranhão - UEMA, como requisito parcial
para a obtenção do Título de Doutor em Biodiversidade e
Biotecnologia.

Aprovada em 12 / 08 / 2024

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **RITA DE CÁSSIA MENDONÇA DE MIRANDA**
Data: 19/08/2024 15:21:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Rita de Cássia Mendonça de Miranda (Orientadora) - Universidade CEUMA

Documento assinado digitalmente
 **PAULO CESAR MENDES VILLIS**
Data: 14/08/2024 16:20:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Paulo Cesar Mendes Villis – Universidade CEUMA

Documento assinado digitalmente
 **FABRICIO BRITO SILVA**
Data: 14/08/2024 18:20:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Fabrício Brito Silva – Universidade CEUMA

Documento assinado digitalmente
 **MARIA RAIMUNDA CHAGAS SILVA**
Data: 19/08/2024 10:22:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Maria Raimunda Chagas Silva – Universidade CEUMA

Documento assinado digitalmente
 **WOLIA COSTA GOMES**
Data: 13/08/2024 17:11:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Wolia Costa Gomes – Universidade CEUMA

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO

Eu, **OSMAN JOSÉ DE AGUIAR GERUDE NETO**, (x) autorizo () não autorizo a publicação da versão final aprovada de minha Tese de Doutorado intitulada “**A OTIMIZAÇÃO E CONTROLE DOS FATORES REGULADORES DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM, PARA POTENCIALIZAÇÃO DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS ORGÂNICOS.**” No Portal do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - Rede BIONORTE (PPG-BIONORTE), bem como no repositório de Teses da CAPES ou junto à biblioteca da Instituição Certificadora.

Local/Data: São Luís, 12 de agosto de 2024

Documento assinado digitalmente
 **OSMAN JOSE DE AGUIAR GERUDE NETO**
Data: 30/08/2024 09:06:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Osman José de Aguiar Gerude Neto

CPF: 016.321.703-37

RG: 000096402798-4

DEDICATÓRIA

Dedico a Deus, e a toda minha família, e a todos os meus amigos, pois sem eles isso não seria possível. E em memória de Osman José de Aguiar Gerude, o grande progenitor de nossa família, inspiração para todos nós.

AGRADECIMENTOS

- A Deus pelo dom da vida, e pelas forças de sempre conseguir lutar contra as adversidades da vida, para alcançar objetivos Maiores;
- A minha mãe Conceição de Maria Bahury Gerude, que sei que mesmo longe, sempre estará presente nas minhas conquistas;
- Ao meu pai Bernardo Barcelar Mendes Filho, que sempre me incentivou a buscar o conhecimento, e acreditou nas minhas escolhas;
- A minha esposa Livia Suellen Pontes Moura, que sempre me apoiou, deu forças, e mesmo nas horas que eu fraquejo e achava que não iria conseguir, sempre depositou total confiança na minha vitória;
- Aos meus Familiares, que sempre me apoiaram e estiveram comigo durante essa caminhada;
- Aos meus amigos, que estão sempre perto quando mais preciso. Em especial o meu amigo Daniel Rocha Pereira, que nunca mediu esforços para a realização deste projeto ao meu lado;
- A minha orientadora e amiga, Rita de Cassásia Mendonça de Miranda, pela total confiança em minhas capacidades de realizações dos trabalhos, pela paciência e compreensão durante a orientação, e pela amizade que sempre cultivaremos antes, durante e depois dessa caminhada;
- A Universidade CEUMA, pela estrutura e disponibilização de matérias para realização dos projetos referentes a tese desse projeto;
- Ao programa BIONORTE, pelos ensinamentos adquiridos, pelas amizades conquistadas, e por toda a estrutura para a realização e execução do meu Doutorado.

EPÍGRAFE

“A gente tem que sempre se reinventar. Se não, corremos o risco de não conhecermos a melhor versão de nós mesmos”

(MAÍRA VANESSA)

GERUDE NETO, Osman José de Aguiar. A Otimização e Controle dos Fatores Reguladores do Processo de Compostagem, para Potencialização Da Reciclagem de Resíduos Orgânicos. 2024. 105f. Tese. (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia) Universidade CEUMA – UNICEUMA., São Luís, 2024.

RESUMO

Os processos biológicos da compostagem permitem o controle e a reciclagem da matéria orgânica, transformando-a em material reutilizável. A tese busca determinar os índices de material fibroso e orgânico para montar leiras de compostagem, substituindo o biocatalisador tradicional (fezes animais) por lodo orgânico, criando um composto alternativo de qualidade. Além disso, testa fontes fibrosas alternativas e o impacto da saturação hídrica na qualidade dos compostos, monitorando temperatura e umidade com Arduino Uno R3. No Experimento I, foram realizados 10 tratamentos: cinco com fezes animais e cinco com lodo orgânico como biocatalisadores, variando a composição fibrosa de 70% a 0%. Nos Experimentos II e III, as leiras continham 50% de material fibroso e 50% de material orgânico. No Experimento II, os tratamentos T₁ a T₆ usaram bagaço de cana, folhas e gramas, com potencial hídrico de 70%, enquanto T₇ a T₁₂ replicaram os tratamentos anteriores, mas com saturação hídrica. No Experimento III, as leiras foram compostas por casca de babaçu, fibra de babaçu e babaçu quebrado, com fezes de equino como biocatalisador. Em todos os experimentos, analisaram-se parâmetros químicos e físicos dos compostos formados. No Experimento I, todos os tratamentos apresentaram pH entre 7,01 e teor de MO até 10,8%, classificando-se como solos de acidez fraca. Apesar da variação dos biocatalisadores e do teor de fibra, os parâmetros físico-químicos analisados superaram as referências da literatura, demonstrando alta qualidade nos compostos produzidos. No Experimento II, a variação das fibras aumentou a disponibilidade de nutrientes, destacando o bagaço de cana como alternativa viável. No Experimento III, as análises químicas mostraram níveis satisfatórios de matéria orgânica disponível. Sendo assim, a otimização da mistura de resíduos orgânicos e materiais fibrosos, somada ao uso de biocatalisadores alternativos, melhorou a qualidade e eficiência na produção de fertilizantes orgânicos.

Palavras-Chaves: Compostos Orgânicos; Resíduos; Reciclagem

GERUDE NETO, Osman José de Aguiar. The Optimization and Control of Regulatory Factors of the Composting Process, to Enhance the Recycling of Organic Waste. 2024. 105f. Tese. (PhD in Biodiversity and Biotechnology) Universidade CEUMA – UNICEUMA., São Luís, 2024.

ABSTRACT

The biological processes of composting allow the control and recycling of organic matter, transforming it into reusable material. The thesis seeks to determine the levels of fibrous and organic material to assemble composting windrows, replacing the traditional biocatalyst (animal feces) with organic sludge, creating an alternative quality compost. Additionally, it tests alternative fibrous sources and the impact of water saturation on the quality of compounds, monitoring temperature and humidity with Arduino Uno R3. In Experiment I, 10 treatments were carried out: five with animal feces and five with organic sludge as biocatalysts, varying the fibrous composition from 70% to 0%. In Experiments II and III, the windrows contained 50% fibrous material and 50% organic material. In Experiment II, treatments T1 to T6 used sugarcane bagasse, leaves and grass, with a water potential of 70%, while T7 to T12 replicated the previous treatments, but with water saturation. In Experiment III, the windrows were composed of babassu bark, babassu fiber and broken babassu, with horse feces as a biocatalyst. In all experiments, we analyzed the chemical and physical parameters of the compounds formed. In Experiment I, all treatments had a pH between 7.01 and an OM content of up to 10.8%, classifying them as weak acidity soils. Despite the variation in biocatalysts and fiber content, the physical-chemical interactions analyzed surpassed literature references, demonstrating high quality in the compounds produced. In Experiment II, the variation in fiber increased the availability of nutrients, highlighting sugarcane bagasse as a viable alternative. In Experiment III, chemical analyzes showed satisfactory levels of available organic matter. Therefore, the optimization of the mixture of organic waste and fibrous materials, combined with the use of alternative biocatalysts, improved the quality and efficiency in the production of organic fertilizers.

Keywords: Organic Compounds; Recycling; Waste.

LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

Figura 1(a) – Principal components (PCA) for dimension 1 and 2: A, chemical and physical composition analysis; B.....	39
Figura 1(b) – Principal component analysis (PCA) for dimensions 1 and 2 showing the distribution of treatments in relation to the chemical parameters analyzed.	59
Figura 1(c) – Sistema de Gotejamento Automático e Leiras Experimentais	89
Figura 2 (a) -Peneiramento e Acondicionamento de Amostras para posteriores Análises....	89
Figura 3(a) - Procedimento de Análise de Matéria Orgânica.....	90
Figura 4(a) - Mesa Agitadora de Amostras, e Processo de Análise de pH.	90
Figura 5(a) - Soluções para análises de P, Na e K	91
Figura 1(d) - Triturador Orgânico (A), Forrageira (B) e Tratamentos Experimentais	93
Figura 2(b) – Phmetro digital, e Espectrofotômetro de Chamas, para análises de pH, Na e K.	93
Figura 3(b) - Leitura de percentual de P e Matéria Orgânica, Preparo de Amostras para Análise de Ca e Mg e Titulação do Alumínio	94
Figura 4(b) - Ataque Químico e Agitação das Amostra para análises físicas do Material ...	94
Figura 5(b) - Lavagem de Material Retido na Peneira, Coleta através de Pipetador Automático, e Separação de Areia Grossa e Fina	95
Figura 1(c) - Material Oriundo do Beneficiamento do Babaçu, coletado e utilizado como Fonte Fibrosa de Leiras Experimentais	96
Figura 2(c) - Leiras e Tratamentos Experimentais.	96
Figura 3(c) - Protótipo de Monitoramento de Parâmetros de Compostagem.....	97
Figura 4(c) - Coleta de Dados do Dispositivo de Monitoramento de Temperatura e Umidade das Leiras.....	97

Figura 5(c) - Esquema de Montagem do Dispositivo de Monitoramento de Temperatura e Umidade das Leiras98

Gráfico 01 - Variação da umidade nas leiras durante o período monitorado.....78

Gráfico 02 - Variação da temperatura nas leiras durante o período monitorado.....79

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1(a) - Treatments with feces biocatalyst	33
Tabela 2(a) - Treatments with organic sludge biocatalyst.....	33
Tabela 3(a) - Physical evaluation of 10 treatments applied considering the biocatalyst (manure and organic sludge)	35
Tabela 4(a) - Chemical evaluation of 10 treatments applied considering the biocatalyst (manure and organic sludge)	37
Tabela 5(a) - Principal component analysis of physical and chemical variables.....	39
Tabela 1(b) - Composition of Experimental Treatments	49
Tabela 2(b) - Chemical analysis after composting of the treatments used varying the fibrous material and catalyst.	57
Tabela 3(b) - Physical analysis after composting of the treatments used varying the fibrous material and catalyst.	59
Tabela 1(c) - Quantitativo de material constituinte das leiras experimentais	68
Tabela 2(c) - Resultados Analíticos dos Compostos	73
Tabela 3(c) - Análise Física do Composto	76
Quadro 01 - Custo de Dispositivo de Monitoramento.....	98
Quadro 02 – Equipamentos para Montagem de Dispositivo de Monitoramento.....	99
Quadro 03 - Comprovantes de Submissão e/ou Aceitação dos Artigos.....	102

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO GERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 COMPOSTAGEM	18
2.2 ETAPAS DA COMPOSTAGEM	19
3 TIPOS DE COMPOSTAGEM.....	20
3.1 COMPOSTAGEM AERÓBICA	20
3.2 COMPOSTAGEM ANAERÓBICA	21
4 FATORES QUE INFLUENCIAM NA COMPOSTAGEM.....	22
4.1 ORGANISMOS.....	22
4.2 UMIDADE.....	22
4.3 AERAÇÃO.....	23
4.4 TEMPERATURA.....	24
4.5 RELAÇÃO C/N.....	25
4.6 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO - pH	26
4.7 GRANULOMETRIA.....	26
REFERÊNCIAS.....	27
INFLUENCE OF FIBROUS MATERIAL ON THE COMPOSTING, WITH THE INCLUSION OF DIFFERENT BIOCATALYSTS.....	31
REALIZAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM COM SATURAÇÃO HIDRICA E VARIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO FIBROSA DAS LEIRAS.....	45
MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS DA COMPOSTAGEM,COM FIBRA DE PALMEIRA NATIVA, E FEZES DE EQUINOS COMO BIOCATALISADOR.....	65
DISCUSSÃO INTEGRATIVA.....	82
CONCLUSÃO GERAL.....	84
REFERÊNCIAS.....	86
APÊNDICE I.....	87
APÊNDICE II.....	91
APÊNDICE III.....	95
ANEXO I	101

1. INTRODUÇÃO

A introdução de forma direta ou indireta pelo homem, de substâncias ou energias no ambiente, causando efeitos degenerativos no seu equilíbrio, é considerada como poluição ambiental (TELLES, 2023). Os principais agentes causadores da poluição, são os resíduos gerados das atividades humanas, classificados como resíduos sólidos urbanos. A composição gravimétrica destes resíduos e o volume gerado, depende do status econômico do país, sendo os mais ricos, com maior quantidade de plásticos, papeis e outros produtos não-orgânicos, e os emergentes, com maior quantidade de materiais orgânicos em sua composição. (DAS *et al.*, 2019). De todo o volume de resíduos produzidos nas áreas urbanas do Brasil, 51% são formados por material orgânico, o que equivale a aproximadamente 62,9 milhões de toneladas por ano, segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – Abrelpe (ABRELPE, 2022).

A grande maioria das cidades brasileiras, não possui estruturação no setor de coleta de resíduos, principalmente em reciclagem e reaproveitamento, ou seja, os resíduos são dispostos de forma incorreta, provocando impactos diretos e indiretos ao meio, como: contaminação e perda da qualidade do ar; das águas e dos solos; proliferação de organismos patogênicos e consequentemente impactos a saúde pública e ao meio ambiente como um todo. (VIANA e NEPOMUCENO, 2023).

A gestão de resíduos envolve uma rede complexa de atores, que além do poder público, requer prestadores de serviços, organizações de catadores, e a sociedade em geral, entre outros. São dimensões que abrangem tanto questões políticas quanto socioambientais, devendo ser trabalhadas com uma visão holística e participativa. A logística de gestão destes materiais (resíduos), que visa a redução do volume gerado com destinação adequada, não pode ser tratada como ações isoladas e estáticas, mas sim implementadas de acordo com a necessidade de cada elemento, referenciadas nas ações temporais, pautadas no crescimento populacional, investimento em infraestrutura e implementação de políticas públicas. (GALAVOTE *et al.*, 2023).

Dentro desse contexto, no Brasil, a compostagem é apresentada como um processo de decomposição biológica, podendo ser realizada em condições aeróbias, anaeróbias e termofílicas, para a destinação adequada de resíduos orgânicos. Este processo ocorre na presença de ar, água e CO₂, transformando os restos putrescíveis em

material húmico, pela ação de digestibilidade dos microrganismos, que liberam nutrientes para melhoria da qualidade e produtividade do solo (MORAIS; FIORE e ESPOSITO, 2022).

Desta forma, a compostagem, é a biotecnologia mais indicada para o tratamento e estabilização dos resíduos orgânicos na atualidade. Os processos biológicos que acontecem durante suas etapas, permitem o controle e a reciclagem da fração de matéria orgânica, transformando-os em material reutilizável, sendo aplicado para os mais variados fins. No entanto, é sempre necessário considerar os materiais constituintes dos substratos (SILVA *et al.*, 2020). Principalmente no tocante a relação carbono/nitrogênio (C/N), aeração, humidade e controle de temperatura do material, garantindo uma boa taxa de fermentação e condições ideais para a ação dos microrganismos (fungos e bactérias), no processo de degradação biológica.

A composição microbiológica do processo de compostagem, apresenta uma variedade de microrganismos mesófilos, metanogênicos, acetogênicos e fermentativos. Para se pensarem otimização deste processo, e aumento da escala produtiva de composto orgânico, com diminuição o tempo de geração do produto final, faz-se necessária a identificação dos microrganismos presentes, sendo um passo importante, o favorecimento dos mais eficientes, melhorando as condições ambientais e potencializando as suas capacidades de produção e decomposição de resíduos orgânicos para transformação em substâncias húmicas. (MOL *et al.*, 2020).

À parti da identificação do grupo de microrganismos predominante, pode-se ser capaz de fornecer as condições ideais de temperatura, umidade, oxigenação, material fibroso e material orgânico para a reprodução mais rápida destes microrganismos. O que poderá potencializar seu predomínio sobre os demais, assim acelerando de forma significativa, a transformação de resíduos orgânicos putrescíveis, em adubo de qualidade, para reutilização na produção de insumos agrícolas.

Os grandes entraves da compostagem atualmente, são: a demora no processo de transformação de resíduos, em compostos orgânicos; e o desperdício de água utilizadas para manutenção dos teores de humidade das leiras. Com a identificação dos microrganismos que predominam a produção de substâncias húmicas, e um menor desperdício hídrico, o processo tende a ser otimizado, dando praticidade e rapidez a reciclagem de resíduos orgânicos, assim potencializando os efeitos dessa biotecnologia e reduzindo o acúmulo de resíduos em lixões e aterros sanitários.

1.1 OBJETIVO GERAL

Otimizar os fatores que influenciam na reciclagem de resíduos orgânicos pelo processo de compostagem através da regulação hídrica, controle de temperatura, mudança de material fibroso e alterações de biocatalisadores, para produção de adubo de qualidade.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Escalonamento do processo otimizado para obtenção de uma maior quantidade de adubo orgânico;
- Automação do processo de monitoramento de parâmetros da compostagem;
- Diminuição dos desperdícios de recursos hídricos no processo de compostagem.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Compostagem

A resolução nº 481 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, de 03 de outubro de 2017, descreva a compostagem como: composto estabilizado, completamente diferente daquele de origem, podendo ser caracterizado como fertilizante orgânico, condicionador de solos e outros produtos agrícolas, oriundo da decomposição biológica de resíduos orgânicos, efetuado em condições aeróbias e termofílicas, por uma população diversificada de microrganismos.

Caracteriza-se pela formação de compostos húmicos, cuja sua utilização não oferece riscos ao meio ambiente, devido a formação de um produto final estável e senilizado. É resultante de uma produção calorífica de origem biológica, por um processo de decomposição aeróbia controlada e da estabilização de matéria orgânica em condições de temperatura termofílicas. Embora este procedimento venha a ser considerado, pela maioria dos autores, como um procedimento aeróbio, a mesma pode ser também exibida como um processo biológico de decomposição anaeróbia, dependendo de que forma for conduzida (VALENTE *et al.*, 2009).

Para atestar a qualidade dos compostos formados no processo, são descritos diferentes métodos na literatura, sendo o carro chefe as análises das propriedades químicas e físicas. Os parâmetros analisados geralmente são: temperatura; potencial hidrogeniônico (pH); capacidade de troca de cátions (CTC); carbono (C) e relação carbono/nitrogênio (C/N) (SUNDBERG *et al.*, 2013). Segundo Awasthi *et al.* (2014) alguns parâmetros que descrevem as atividades microbianas também têm sido usados. Sendo que a vantagem de analisar todos estes parâmetros é obter informações preciosas sobre a dinâmica do processo, e a qualidade do produto final (SALDARRIGA *et al.*, 2019).

Através do processo de compostagem, podem ser tratados os mais diversos resíduos orgânicos, pois a variedade de microrganismos, podem degradar poluentes orgânicos, e a decompor substâncias tóxicas (COSIC *et al.*, 2013). Ou seja, também podem ser tratados diversos substratos residuais como: resíduos agrícolas e agroindustriais; lodos de esgotos; lodos de resíduos industriais etc. Assim, transformando estes poluentes, em composto estáveis e ricos em substâncias húmicas, para posterior aplicação no solo (MALAKAHMAD *et al.*, 2017 e ZITTEL *et al.*, 2018).

A compostagem também é considerada como uma biooxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, distinto pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e também formação de matéria orgânica estável. Estes componentes orgânicos biodegradáveis sofrem etapas sucessivas de transformação constante, sob a ação de grupos diversos de microrganismos, dando ao processo um resultado bioquímico altamente complexo. Os fatores considerados mais relevantes no andamento de tal procedimento, são os que influem na degradação da matéria orgânica, como a aeração, os nutrientes, pH e a umidade. A temperatura também é um fator bastante importante, principalmente no que diz respeito à aceleração do processo de biodegradação e à eliminação de patógenos (SANTOS; COSTA e ROCHA, 2022).

Sendo assim, a compostagem, é uma alternativa viável que permite a o enriquecimento da matéria orgânica, e aumenta a disponibilidade de nutrientes, de forma economicamente e ambientalmente sustentável, estimulando uma maior troca de cátions (CTC) no solo; aumentando a disponibilidade dos minerais N, P e K; e a qualidade da matéria orgânica produzida pelos microrganismos (COTTA *et al.*, 2015). Neste cenário, as bases formadas reagem com os ácidos orgânicos, dando origem aos ácidos minerais, caracterizando uma reação alcalina, além da formação matéria orgânica rica em ácidos húmicos ricos. (BRILHANTE *et al.*, 2021).

Existem atualmente muitos sistemas para a produção de composto, mas eles podem ser agrupados em dois tipos: fermentação natural em leiras ou montes; e fermentação acelerada em digestores ou em compartimentos fechados (JIMÉNEZ e GARCIA, 1989). Como efeito do processo de compostagem pode verificar-se a geração de húmus orgânico, como condicionador e melhorador das propriedades físicas, físico-químicas e biológicas do solo. Por esta última razão, muitos autores se referem à matéria orgânica humificada, como condicionadora e fornecedora de elementos essenciais à vida vegetal (KIEHL, 1998).

2.2 Etapas da compostagem

A ciência de fabricar compostos orgânicos, a partir de resíduos, através de um método de decomposição de materiais biodegradáveis para utilização na agricultura, em condições adequadas, denomina-se compostagem. As etapas deste processo, acontecem na degeneração de resíduos orgânicos, por um grupo de microrganismos de população diversificada, em condições específicas de pH, nutrientes, umidade e aerobiose, que

através da degradação e maturação, gera um composto rico em matéria orgânica. (MELO, 2018)

Na fase inicial, ocorre a elevação da temperatura, com a expansão das colônias dos microrganismos mesófilos, e alta taxa de decomposição do material. Podendo chegar a 45°C no interior das leiras, se estendendo de 3 a 15 dias, dependendo do material. Na segunda fase, os microrganismos termofílicos estão em alta taxa de atividade, podendo elevar a temperatura interna da leira acima dos 65°C, geralmente apresentando formação de vapor de água, e manutenção do calor interno. E na fase final, são degradadas as substâncias mais resistentes pelos microrganismos, há uma diminuição das atividades microbianas, queda na temperatura, e maturação do composto formado (PEIXOTO e FERNANDES, 2016).

3. TIPOS DE COMPOSTAGEM

3.1 Compostagem Aeróbica

A decomposição de substratos orgânicos com a presença de oxigênio, gerando como produtos do metabolismo biológico CO₂, H₂O e energia, caracteriza a compostagem aeróbica. Essa técnica é a mais utilizada pois diminuem a emissão de odores e gases do efeito estufa, pois, a presença do oxigênio no processo atenua a decomposição mais rápida dos resíduos (VALENTE *et al.*, 2016).

Loureiro et al. (2007), relatam que a compostagem aeróbica se caracteriza pela presença de ar no interior da pilha, altas temperaturas decorrentes da liberação de gás carbônico, vapor de água, rápida decomposição da matéria orgânica. A energia é produzida por causa da ação dos microrganismos, parte da energia é usada por estes para crescimento e movimento, e a restante é liberada como calor, que procura conservar-se na pilha de compostagem. Neste processo ocorre a eliminação de organismos e sementes indesejáveis, mau odor e moscas.

Kiehl (1998) afirmam que no início da decomposição há predominância de bactérias e fungos mesófilos, os quais atuam metabolizando nitrogênio orgânico transformando-o em nitrogênio amoniacal e com o transcorrer do processo de decomposição, a amônia pode volatilizar-se ou ser convertida à forma de nitratos, pela nitrificação, fenômeno que é acidificante e contribui para que o produto maturado seja

mais ácido do que o original. Ainda segundo os mesmos autores, com a elevação progressiva da temperatura, a população dominante passa a ser de actinomicetes, bactérias e fungos termófilos, responsáveis pela decomposição acelerada da matéria orgânica.

3.2 Compostagem Anaeróbica

A compostagem sem a presença de oxigênio, denominada de anaeróbica, se caracteriza por produzir CH_4 , CO_2 e ácidos orgânicos de baixo peso molecular, como produtos intermediários das atividades microbianas nos resíduos (COSTA et al., 2015)

A digestão anaeróbica ocorre através de um processo biológico, onde a matéria orgânica é armazenada em uma área exclusiva a oxigênio, fazendo com que matéria passe por um processo de fermentação durante o catabolismo, sendo então transformada em metano e dióxido de carbono. É um processo complexo, onde ocorrem trocas recíprocas de substratos e produtos entre as fases sólida, líquida e gasosa, sendo por isso fundamental a existência de relação equilibrada e coordenada entre diferentes grupos tróficos bacterianos presentes (KUNZ; STEINMETZ e DO AMARAL, 2022).

A degradação anaeróbia ocorre na ausência de oxigênio, este processo produz dois produtos diretos pela ação dos microrganismos: o biogás, e o líquido efluente fertilizante o chorume (SILVA et al., 2020). Segundo Bonturi e Dijk (2012) o processo de digestão aeróbico de matéria orgânica, é complexo, e depende da atividade de três grupos de microrganismos: bactérias fermentativas (acidogênicas); bactérias sintróficas (acetogênicas); e microrganismos metanogênicos.

A compostagem aeróbica é um processo fermentativo, o qual, são submetidos diversos tipos de resíduos (urbanos, rurais ou industriais), com uma ou mais das seguintes finalidades: tratamento dos resíduos (remoção de matéria orgânica poluente e dos microrganismos patogênicos), produção de biogás e produção de biofertilizantes mais estáveis, mais ricos em nutrientes assimiláveis e com melhores qualidades sanitárias em relação ao material original (BADRA, 1992). As três fases distintas da decomposição anaeróbia são: hidrólise; acidulação; e metanogênese. Durante a hidrólise, ocorre a hidrolisação da matéria orgânica, transformando-a em matéria solúvel. Na acidulação, são degradadas as moléculas de proteínas, gorduras e carboidratos em ácidos orgânicos. E na metanogênese, ocorre a conversão de hidrogênio e dióxido de carbono em metanol, pela ação dos microrganismos (SEIXAS; FOLLE; MARCHETTI, 1981).

O estudo das bactérias metanogênicas em culturas puras, tem demonstrado que elas são compostas de várias espécies diferentes, com diferentes formatos e estruturas celulares, mas todas obtendo energia por um só mecanismo, que leva à formação de metano. Essas bactérias requerem condições extremamente anaeróbias, ou seja, crescem onde o oxigênio é completamente ausente, sob um potencial de oxirredução por volta de 300 milivolts (VIEIRA e SOUZA, 1981).

Suas necessidades nutricionais são bastante simples, requerendo sais minerais, CO₂ (fonte de C), NH₄⁺ (fonte de N) e sulfeto/cisteína (fonte de S). Utilizam substratos específicos, como acetato, formiato, H₂, CO₂, CO, metanol e metilaminas. São conhecidas duas faixas características de temperatura para o crescimento das metanogênicas, a mesofílica, entre 15°C e 40°C e a termofílica entre 55°C e 65°C. O pH ideal é entre 6,8 e 7,2 (POSTGATE, 1984).

4. FATORES QUE INFLUENCIAM NA COMPOSTAGEM

4.1 Organismos

Os compostos orgânicos são resultado das atividades do micro, meso e macrofauna do solo, que incluem fungos, bactérias, protozoários, nematoides, vermes, insetos, entre outros. Em torno de 90% do processo de decomposição da matéria orgânica é conduzido pelas bactérias, que são mais abundantes na fase mesofílica. Nessa etapa, ocorre a decomposição de estruturas mais simples, como açúcares, amidos e proteínas, gerando energia na forma de calor, o que favorece o desenvolvimento das bactérias termofílicas. Essas bactérias, assim como os actinomicetos, desempenham um papel crucial na decomposição de substâncias complexas e na eliminação de patógenos. (KIEHL, 1998 e FERNANDEZ, 2008).

Com a degradação das estruturas dos compostos, os microrganismos aumentam a temperatura do interior das leiras, devido a liberação de calor. Nesta fase as bactérias degradam os lipídios e a hemicelulose, e os fungos decompõem a celulose e a lignina. Estas sucessões microbiológicas, e suas atividades, durante as fases do processo de compostagem, propiciam uma mineralização mais eficaz do composto, e a renovação de matéria orgânica formada nas leiras, além da produção de CO₂, e vapor de água. (KIEHL, 2004 e AQUINO *et al.*, 2005).

4.2 Umidade

Segundo Garré *et al.*, (2017) durante o processo de compostagem, existe uma perda de umidade em torno de 70%, do volume inicial da massa devido a evaporação dos líquidos presentes inicialmente nos resíduos, devendo apresentar no mínimo 30% de umidade na

fase final do processo. De acordo com Souza, Carmo e Silva (2019) a umidade é um fator fundamental para manutenção das atividades microbianas, tendo que ser rigorosamente controlada.

Para Nogueira (2011), se o material estiver abaixo de 40% de umidade, o processo é retardado, e acima de 60%, torna o meio anaeróbico, por baixar o potencial de oxidação-redução. Outro inconveniente é que quanto maior a umidade, maior será a quantidade de chorume produzido. Na revirada da leira deve-se misturar as camadas externas mais secas, com as camadas internas mais úmidas, a fim de se ter homogeneização e distribuição da umidade.

Pereira Neto (1998) considera que na prática, a umidade que é um fator ideal que necessita ser dirigida com base na aptidão de aeração dentro da massa da compostagem, ou seja, existe a necessidade de observação dentro das características físicas como: estrutura do material, porosidade, e sempre procurando satisfazer a demanda microbiológica por oxigênio. Desta forma, o reviramento periódico das leiras, facilita a distribuição do ar no material, e proporcionando o desenvolvimento das condições ideais para os microrganismos aeróbios.

4.3 Aeração

O ar deve circular pelas leiras, pois caso essa passagem de corrente seja dificultada, haverá o desenvolvimento de microrganismos injeáveis para o processo. Ou seja, a determinação da natureza da decomposição aeróbia ou anaeróbia, está intimamente ligada à aeração do material. (SOUZA, CARMO E SILVA, 2019). Segundo Velho *et al.*, (2021) que estudaram os métodos de compostagem em resíduos alimentares orgânicos, afirmam que a utilização do reviramento das leiras, acelera a maturação dos compostos, favorecendo o desenvolvimento precoce da fase termofílica.

O manual do Ministério do Meio Ambiente – MMA Brasil (2010), descreve três tipos distintos de compostagem segundo a sua aeração:

- I. **Aeração Natural** – reviras periódicas para convecção da massa de ar, em resíduos dispostos em leiras, e seguidos de umidificação, até término do processo.
- II. **Aeração Forçada** – tubos perfurados, onde são dispostos os materiais para compostagem, e o ar circula através de bombeamentos mecânicos. Neste método, não existe a prática de reviramento.
- III. **Reator Biológico** – sistemas fechados, onde os parâmetros de oxigenação, não sofrem nenhum tipo de interferência externa.

Segundo Kiehl (2004), a compostagem trata-se de um processo de fermentação onde a presença do ar na massa em decomposição é imperativo, fazendo com que o odor desagradável possa ser reduzido pelo revolvimento da leira, ou por outro meio de aeração, transformando o processo de anaeróbio para aeróbio. No entanto, o material empilhado não deverá sofrer compactação excessiva e, periodicamente, deve ser revirado.

4.4 Temperatura

Nogueira (2011), relata que o metabolismo dos microrganismos é exotérmico, e acontece com o decorrer do tempo em rápido aquecimento da massa com a multiplicação da população microbiana. Segundo o mesmo autor, um dos fatores de grande valor nesse processo de transformação da matéria é a temperatura do ambiente onde se realiza o processo.

Para com Kiehl (2004), dentro do procedimento onde acontece a compostagem, a ação microbiológica atinge alta magnitude, fazendo com que a temperatura sofra elevação constante no interior das leiras, chegando até 65°C, ou mesmo temperaturas superiores a está, em decorrência da geração de calor pelo metabolismo microbiológico de oxidação da matéria orgânica.

Segundo Sartori et al., (2011) durante o processo de compostagem são caracterizadas três fases, que estão relacionadas a maturação do composto e disponibilidade de nutrientes.

- I. **Fase Mesófila:** as temperaturas podem chegar aproximadamente 40 °C, onde ocorre a metabolização dos nutrientes mais simples, tendo em média 15 dias de duração.
- II. **Fase Termofílica:** nesta fase, os microrganismos termófilos executam a degradação de moléculas mais complexas, podendo levar cerca de 60 dias, com a temperatura variando entre 60°C a 70°C, assim possivelmente eliminando microrganismos patogênicos.
- III. **Fase de Maturação:** tende a diminuir a acidez dos compostos, pois está diretamente ligado a ação microbiana. Podendo levar até 60 dias, ocorrendo uma queda significativa na temperatura, como também a estabilização e maturação do composto formado.

4.5 Relação C/N

De acordo com Leal *et al.*, (2013) dentro do processo de compostagem é necessário para a formação de um bom composto, uma mistura de materiais com relação elevada entre C:N, como palhadas, serragens etc. A relação Carbono (C) e Nitrogênio (N) é um índice utilizado para avaliar os níveis de maturação de substâncias orgânicas e seus efeitos no crescimento microbiológico, visto que a atividade dos microrganismos heterotróficos, envolvidos no processo, depende do conteúdo de C para fonte de energia, e de N para síntese de proteínas (SHARMA e CANDITELLE, 1997). Valente *et al.*, (2009) descreveram que interdependência e o interrelacionamento de alguns fatores, entre eles, a relação C/N, afetam a compostagem. Desta forma, a maneira mais adequada de fornecimento dos índices ideais de C/N, é a mistura de vários tipos de resíduos orgânicos, que além dos nutrientes para o desenvolvimento dos microrganismos, auxiliam também na homogeneização da massa de compostagem.

Os diversos resíduos vegetais que formam o composto orgânico devem ser triturados em pequenas partículas para promover uma maior atividade microbiana. Isso ocorre porque a superfície de contato entre os resíduos e os microrganismos é aumentada. Na seleção dos resíduos, é importante garantir que cerca de 60% sejam predominantemente carbonáceos e 40% nitrogenados. Essa proporção é justificada pela necessidade de manter uma relação inicial carbono/nitrogênio (C/N) mais elevada, o que resultará em uma maior quantidade de húmus ao final do processo de decomposição (SBZZARO *et al.*, 2017).

Durante a fase inicial da compostagem, é crucial manter uma relação ideal entre carbono e nitrogênio (C/N) de 25/1 a 35/1. Conforme a decomposição avança, os microrganismos absorvem carbono e nitrogênio em uma proporção de 30/1 (KIEHL, 2004). Tanto o carbono quanto o nitrogênio desempenham papéis fundamentais na decomposição microbiana: o carbono serve como fonte de energia para os microrganismos, enquanto o nitrogênio é um componente essencial de proteínas, ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas e coenzimas cruciais para o crescimento e funcionamento celular (COSTA *et al.*, 2015).

Wang *et al.*, (2017) descreveram que a relação entre carbono e nitrogênio, é um dos parâmetros que indicam a qualidade e a maturidade dos compostos, mas não deve ser o único parâmetro a ser considerado. A legislação brasileira estabelece que compostos orgânicos ~~de~~ ^{devem} ser comercializados com relação máxima de 20 para C/N (BRASIL, 2020). Esta relação entre C/N ainda tem uma divergência entre os autores, pois segundo Swarnam *et al.* (2016) abaixo de 20 é um indicativo de maturidade para os compostos, sendo que para utilização em fins agrônômicos o ideal seria abaixo de 15. Já Raj e Atil (2011)

só consideram a maturidade com valor de relação de C/N abaixo de 15, enquanto Awasthi et al., (2014) relatam que valores iguais ou menores que 25 são aceitáveis.

Sendo assim a relação carbono/nitrogênio é o resultado entre as divisões das massas de carbono e nitrogênio disponíveis no composto. Este parâmetro é utilizado para analisar a qualidade do adubo final, e sua composição irá variar dependendo dos fatores em que a leira foram expostas durante o processo de compostagem (VALENTE, 2009).

4.6 Potencial Hidrogeniônico - pH

Segundo Valente et al. (2009), os materiais orgânicos utilizados no início do processo possuem características ácidas, o que promove a leira o teor ácido em suas reações iniciais. Ainda no início do processo há a formação de ácidos orgânicos, os quais se incorporam ao carbono no plasma dos microrganismos mesófilos. Os ácidos orgânicos e os traços de ácidos minerais reagem com bases que são liberadas no decorrer da decomposição da matéria orgânica, gerando compostos de reação alcalina, desta forma o pH do composto aumenta progressivamente à medida que o processo avança, atingindo níveis superiores a 8,0. Ainda segundo o mesmo autor, os níveis ideais para as reações estão entre 5,5 e 8,5.

Níveis muito baixos de pH, ou muito elevados, podem reduzir e/ou inibir a ação dos microrganismos. Para as bactérias a faixa ótima de pH está entre 6 e 7,5, e para os fungos entre 5,5 e 8. Desta forma, a manutenção da faixa de pH entre 5,0 e 7,0, é suficiente para que ocorra uma degradação satisfatória do material (BRITO, 2017).

4.7 Granulometria

O tamanho das partículas que compõem as leiras, é uma característica que deve ser considerada durante o processo de compostagem. Pois este parâmetro, interfere diretamente na ação e interação dos microrganismos com o material a ser compostado. A decomposição é um fenômeno microbiológico cuja a sua intensidade está relacionada à superfície do material, e quanto menor a partícula, maior será a área atacada pelos microrganismos. A dimensão das partículas pode ser reduzida após trituração prévia dos resíduos, aumentando a taxa de digestão pelas bactérias, e diminuindo o tempo do processo (DE SOUZA *et al.*, 2020).

Matérias com maior homogeneização, granulometria fina, peneirados e triturados, auxiliam em uma melhor distribuição da temperatura, e menor perda de calor, no interior das leiras (NOGUEIRA *et al.*, 2011). Melhorando a aeração, pois partículas menores modificam a densidade do material, e dinamizam a velocidade do processo (KIEHL, 2004).

A área disponibilizada é fundamental para a atividade microbiana aeróbia, pois sua decomposição ocorre nas superfícies das partículas. O aumento da concentração de microrganismos na camada líquida em torno das partículas, utilizam o oxigênio disponível, degradando a partícula de dentro para fora, e com o avançar da degradação, o material diminuem de tamanho (RYNK, 1992).

REFERÊNCIAS

AQUINO, A. M.; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M.; De-Polli, H. Biomassa microbiana, coloides orgânicos e nitrogênio inorgânico durante a vermicompostagem de diferentes substratos. **Pesq. Agropec. Bras.** v. 40: 1087- 1093, 2005.

Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2015**. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br>. Acessado em: 03 ago. 2023.

AWASTHI, M. K. et al. Evaluaintion of Thermophilic Fungal Consortium for Organic Municipal Solid Waste Composting. **Bioresource Technology**. v. 168, p. 214-221, 2014

BADRA, R. J. **Treinamento Prático Especializado em Microbiologia da Digestão Anaeróbia**. [S. l.: s. n.], 1992.

BONTURI, G. L.; DIJK, M. V. Instalação de biodigestores em pequenas propriedades rurais: análise de vantagens socioambientais. **Revista Ciências do Ambiente**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 88-95, out. 2012.

BRASIL. Instrução normativa nº 61, de 8 de julho de 2020. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2020. Disponível em: www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-n-61-de8-de-julho-de-2020-266802148. Acesso em 12 de ago. de 2023.

BRILHANTE, F. D. F. et al. **Compostagem-Aspectos Físicos e Químicos de Interesse Agrônomo**: uma revisão narrativa.In. **MENDONÇA, M. S. Osorganizador (org.)**, v. 1, 1 ed, p. 30-39, 2021.

BRITO, L. M. **Compostagem, Fertilização do Solo e Substratos**. 1 ed. Ribeirão Preto – SP: Agrobook, 2017. 182p.

COSTA, A.R.S.; XIMENES, T.C.F; XIMENES, A.F; BELTRAME, L.T.C. O processo da compostagem e seu potencial na reciclagem de resíduos orgânicos. **Revista Geama**, v. 2, n 1, p. 116-130, 2015.

COTTA, J.A.O.; CARVALHO, N.L.C; BRUM, T.S.; REZENDE, M.O.O. Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.20, n.1, p.65-78, 2015.

DA SILVA, J. A. R et al. Tratamento de dejetos no Brasil: comparativo entre as técnicas de compostagem e biodigestores anaeróbios. **Revista em Agronegócioe Meio Ambiente**, v. 13, n. 2, p. 797-817, 2020.

DAS, S. et al. Solid waste management: Scope and the challenge of sustainability. **Journal of Cleaner Production** v. 228, p. 658-678. 2019.

DE SOUZA, L. A. et al. Análise dos principais parâmetros que influenciam a compostagem de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, n. 3, 2020.

GALAVOTE, T. et al. Avaliação do efeito do fortalecimento da coleta seletiva nos custos de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 15, p. 201-218, 2023.

GARRÉ, S. O, et al. Análise econômica para implantação de uma usina de compostagem de resíduo orgânico urbano. **Revista Espacios**, v. 38, n. 17, 2017.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: [s.n.], 1998. 171p.

KIEHL, E.J. 2004. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4 ed. Piracicaba. 173 p.

KUNZ, A.; STEINMETZ, RADIS. L. R.; DO AMARAL, A. C. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. v. 1, 2 ed. p. 211, 2022.

LEAL, M. A. A. et al., Compostagem de misturas de capim-elefante e torta de mamona com diferentes relações C: N. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1195-1200, 2013.

LOUREIRO, D. C. et al. Compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares com esterco bovino para a produção de insumo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 42, n. 7, p. 1043-1048, jul 2007.

MALAKAHMAD, A. et al. In-vessel co-composting os yard waste and food waste: na approach for sustainble waste management in Cameron Highlands, Malaysia. **Journal Recyel Organic Waste Agricult**. v. 6, p. 149-157, 2017.

MELO, C. X.; DUARTE, S. T. Análise da Compostagem como Técnica Sustentável no Gerenciamento dos Resíduos Sólidos. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**. v. 5, n. 10, p. 691-710. 2018.

MOL, M. P. G et al. Isolamento e Caracterização Morfológica de Microrganismos Presentes no Processo de Compostagem de Resíduos de Origem Vegetal. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, v. 13, n. 2, p. 630-639. 2020.

MORAIS, C. A. S.; FIORE, F. A.; ESPOSITO, E. Influênciado uso de inóculo aclimatado em processo de compostagem. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 27, p. 499-510, 2022.

NOGUEIRA, J. O. C. Compostagem como prática de valorização dos resíduos alimentares com foco interdisciplinar na educação ambiental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 316-325, 2011.

PEIXOTO, A. A.; FERNANDES, J. Utilização da Técnica de Compostagem: uma proposta para destinação final dos resíduos orgânicos gerados em um restaurante universitário. **Resende: AEDB**, 2016.

PEREIRA NETO, J. T. **Lixo Urbano no Brasil: Descaso, Poluição Irreversível e Mortalidade Infantil.** Ação Ambiental - Universidade Federal de Viçosa, agosto/setembro, p. 8-11. 1998.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de Compostagem:** processo de baixo custo. Viçosa – MG. 1 ed. Editora UFV, 2007. 81p.

POSTGATE, J. R. **The Sulphate-Reducing Bacteria.** Cambridge University Press, 2 ed, 224p., 1984.

RAJ, D.; ANTIL, R. S. Evaluation of maturity and stability parameters of composts prepared from agroindustrial wastes. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 2868–2873, 2011.

RYNK, R. et al. **On-Farm Composting Handbook.** v. 1, 1 ed. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service (NRAES), 1992.

SANTOS, N. M.; COSTA, P. M. M.; ROCHA, M. B. Tendências e padrões do uso de biodigestores em estudos brasileiros. **Terrae Didactica**, v. 18, p. e219-229, 2022.

SBIZZARO, M. et al. Vermicompostagem de dejetos de ovinos e bovinos com palha de cana-de-açúcar a partir de diferentes relações iniciais de C:N. **Gaia Scientia**, v.11, n.1, p. 17- 30, 2017.

SARTORI, V. C. et al. **Cartilha para agricultores:** Adubação verde e compostagem: Estratégias de manejo do solo para conservação das águas. Caxias do Sul/RS: EducS, 2011.

SEIXAS, J.; FOLLE, S.; MARCHETTI, D. **Construção e funcionamento de biodigestores.** [s.l.]: EMBRAPA circular técnica, Embrapa, 1981.

SHARMA, V. K. M.; CANDITELLI, F. **Processing of urban and agroindustrial residues by anaerobic composting:** review. *Energ. Convers. Manage.*, v. 38, 453-478, 1997.

SILVA, R. M. et al. Análise da viabilidade técnica da compostagem para produção de adubo orgânico. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 2, p. 182-191, 2020.

SUNDBERG, C. et al. Efeitos de Ph e da Composição Microbiana sobre o Odor na Compostagem de Resíduos Alimentares. **Gestão de Resíduos**, v. 33, n. 1, p. 204-211, 2013.

SWARNAM, T. P.; VELMURUGAN, A.; PANDEY, S. K.; ROY, S. D. Enhancing nutrient recovery and compost maturity of coconut husk by vermicomposting technology. **Bioresource Technology**, v. 207, p. 76–84, 2016.

TELLES, D. D.'A. **Resíduos sólidos:** gestão responsável e sustentável. Editora Blucher, 2022. 174p.

VALENTE, B. S. et al. Compostagem e vermicompostagem de dejetos líquidos de bovinos leiteiros e cama aviária. **Archivos de Zootecnia**, v.65, n.249, p.79-88, 2016.

VALENTE, B.S. et al. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Arch. Zootec.**, v.58, p.59-85, 2009.

VELHO, V. F. et al. Compostagem da fração orgânica de resíduos alimentares através de dois métodos de aeração natural para a produção de um composto orgânico. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 22323-22329, 2021.

VIANA, F. D. F.; NEPOMUCENO, S. M. O Setor de Serviço de Coleta, Tratamento e Disposição de Resíduos no Brasil: uma análise do emprego formal para os anos de 2010 e 2019. **Gestão e Desenvolvimento em Revista**, v. 8, n. 2, 2023.

VIEIRA, S. M. M.; SOUZA, M. E. **Métodos Analíticos para o Acompanhamento da Biodigestão. Revista Energia, fontes Alternativas**, [S.l.], v. 3, n. 15, p. 26- 36, jul./ ago. 1981.

WANG, X.; PAN, S.; ZHANG, Z.; LIN, X.; ZHANG, Y.; CHEN, S. Effects of the feeding ratio of food waste on fed-batch aerobic composting and its microbial Community. **Bioresource Technology**, v. 224, p. 397- 404, 2017.

ZITTEL, R. et al. Tratamento de Tabaco de Cigarro Contrabandeado por Processo de Compostagem em Reatores Facultativos. **Gestão de Resíduos**. v. 71, p. 115-121, 2018.

Artigo publicado na revista Ciência e Natura, Qualis A3 2017-2020.

INFLUENCE OF FIBROUS MATERIAL ON THE COMPOSTING, WITH THE INCLUSION OF DIFFERENT BIOCATALYSTS

ABSTRACT

The manuscript aims to demonstrate which percentage indexes of fibrous and organic material are necessary in the assembly of composting windrows, the replacement of the biocatalyst traditional (feces) by organic sludge, with the purpose of forming an alternative quality fertilizer. For this purpose, individual washers were designed with different compositions based on 10 calculations of different proportions. The three different materials used in the composting process for each treatment (T1, T2, T3, T4 and T5 with animal feces as biocatalyst, and T6, T7, T8, T9 and T10, with sludge as biocatalyst). Each treatment consisted of 1kg of material with the following proportions: T1 - 70% of fibrous material and 30% of organic material; T2 - 50% fibrous material and 50% organic material; T3 - 30% fibrous material and 70% organic material; T4 - 10% fibrous material and 90% organic material; T5 - 0% of fibrous material and 100% of organic material, where the following parameters of the organic fertilizers generated were analyzed: physical - granulometry; density and porosity, chemical – Organic Matter; pH; P; K; Ca; Mg; At; SB; Al; H and CTC. All treatments are within the classification range of soil with weak acidity, since the pH and OM content were between 7.01 and 10.8% respectively. Thus, even with the variation of the organic biocatalysts used, the indices and required levels of the physicochemical parameters analyzed, of all treatments, regardless of the fiber content, were above the references expressed in the literature, demonstrating a high quality in the fertilizers produced.

Key words: organic fertilizer; biological catalyst; fiber.

1. INTRODUCTION

Population growth linked to industrial expansion brought an increase waste generation. In the face of this fact, it is necessary to take actions that may mitigate the impacts caused by their inappropriate disposition (FILHO, 2017). In this context, about 79.9 million tons of urban solid waste were generated in Brazil in 2015. In the state of Maranhão, about 2,663,040 tons were produced in that year, of which about 34% were destined in the form of incorrect landfills (ABRELPE, 2015).

Composting is a form of treatment for organic waste to transform waste into reusable products, characterized by a process in which putrescible organic matter is degraded biologically, allowing its reuse, which constitute a significant part of domestic waste (INÁCIO; MILLER, 2009). This procedure, which can be carried out in the houses, giving the correct destination of these residues, through the segregation and separation of organic and inorganic materials, as well as can be implemented by the institutions that

propose environmental education, as a method to maximize the recycling of this minimizing waste and environmental impacts.

Another known form of composting is the one made through organic sludge, obtained through the sewage treatment system and other organic load effluents, giving rise to this final product. For Andreoli (1998), if this material has a predominantly organic composition, these residues should be called biosolids.

In this way all sectors of the Brazilian economy, with rise of the lower classes of the last years have generated employment and income for the population, because with the demand of the market the population tended their professional qualification, with that the large companies have increased their staffing and consequently their organic waste productions. With this reality, it becomes necessary within the organizations, actions that aim at the rational consumption and the awareness of its employees, as the reuse of produced waste can minimize the costs of the most varied forms (BRANCO, 2012).

For all that is presented here, the present work aims to demonstrate what percentage indexes of fibrous material and organic matter are necessary in the assembly of the composting windrows, as well as the replacement of the traditional biocatalyst (feces) with organic sludge, with the purpose of form an alternative quality fertilizer.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 Characterization of the City

The experiment was carried out in the city of the São Luís-MA classified as tropical, with average temperature of 27.0 ° C and average annual rainfall of 1896 mm, has a population of about 1 million inhabitants in its territory with an extension of 827.1 km² (IBGE, 2017). The experiment was carried out from March 7, 2022 to May 22, 2022, at the Laboratory of Environmental Practices of the Environmental Engineering Department of the CEUMA University.

2.2 Collection of Material

Materials for assembling the experiment were collected in two locations. Both were used in the municipality of São Luís. Organic residues (food residues) were used; residues of grass pruning and organic sludge extracted from septic tanks, these residues were selected for their availability at the CEUMA University, and animal excrement from the corral of the Department of Animal Science of the State University of Maranhão - UEMA.

2.3 Lining and treatment

The experiment was carried out at the Laboratory of Environmental Practices of the Ceuma University, Campus Turu. 10 individual windrows were made, making a proportionality calculation between the three different materials used in the composting process for each treatment. They were divided into two groups, the first with five treatments named T₁; T₂; T₃; T₄ and T₅, with animal feces as a biocatalyst and the second with five more treatments named T₆; T₇; T₈; T₉ and T₁₀ (Fig. 01, Appendix I), differentiated only by replacing the animal feces biocatalizer with organic sludge, totaling 1 kg kilogram each treatment. The treatments from T₁ to T₅ (Table 01) and from T₆ to T₁₀ (Table 02), had a gradual decrease in the percentage of fiber in the windrows, until zeroing this component, to check if the presence of the fibrous material is really necessary for the formation of a quality organic fertilizer through composting (Tables 1 and 2).

Table 1(a) - Treatments with feces biocatalyst

Tratamento	Material fibroso (g)/(%)		Fezes Animal (g)/(%)		Matéria orgânica (g)/(%)	
Tratamento 1 (T ₁ /C)	700 g	70%	150 g	15%	150 g	15%
Tratamento 2 (T ₂)	500 g	50%	250 g	25%	250 g	25%
Tratamento 3 (T ₃)	300 g	30%	350 g	35%	350 g	35%
Tratamento 4 (T ₄)	100 g	10%	450g	45%	450 g	45%
Tratamento 5 (T ₅)	0 g	0%	500 g	50%	500 g	50%

Source: Authors (2022)

Table 2(a) - Treatments with organic sludge biocatalyst.

Tratamento	Material fibroso (g)/(%)		Lodo orgânico (g)/(%)		Matéria orgânica (g)/(%)	
Tratamento 6 (T ₆)	700 g	70%	150 g	15%	150 g	15%
Tratamento 7 (T ₇)	500 g	50%	250 g	25%	250 g	25%
Tratamento 8 (T ₈)	300 g	30%	350 g	35%	350 g	35%
Tratamento 9 (T ₉)	100 g	10%	450g	45%	450 g	45%
Tratamento 10 (T ₁₀)	0 g	0%	500 g	50%	500 g	50%

Source: Authors (2022)

2.4 Statistical Analyzes

Statistical analysis was performed using Origin. Multivariate analysis techniques were also used as an additional tool, specifically Principal Component Analysis (PCA) using the Minitab statistical software program for Windows (Version 17.3.1).

For the analyses physical and chemical the results were expressed as means and standard deviations ($\pm$ SD). The data were assessed by analysis of variance (ANOVA) with nested design considering the treatments (10 treatments) and the biocatalyst (organic sludge or manure) as

factors and physical and chemical parameters as dependent variables. Post-hoc pairwise testing among all treatments was performed using Tukey test (with a $p < 0.05$). For each set of analyses (physical and chemical), a principal component analysis (PCA) was applied to the mean values of three replicates to identify correlations among the sets of analyses (physical and chemical) and to group the treatments accordingly.

3. RESULTS

3.1 Lining and treatment

From this information, and correlating with the final compost from composting, it can be observed through the physical analysis of the samples, that the final compost presented characteristics similar to the behavior of sandy loam soils, having divergent proportions, with the fraction of sand with a higher percentage in relation to the other fractions, however, characteristics of the silt and clay fractions can still be observed, classifying it as sandy loam compost.

Directly linked to the granulometric composition are the factors of porosity and density. Although the compounds are classified as sandy franc, their density has remained low, this is due to the fact that the particles are more uniform, corresponding to percentages lower than 52%, a reference value to the density of sandy franc soils that serve as a standard comparison in this study.

Therefore, taking into consideration both factors, granulometry and density, it could be noted that the porosity values remained very close, with characteristics of macropores and micropores, due to their variation in composition. Such characteristics allow evidence that the moisture and aeration factors remain at satisfactory levels, since the macropores present in the samples confirm a good aeration together with the good water retention conferred by the micropores.

Relating to chemical factors, the three aspects mentioned above directly influence the way in which ions will be present in the compound, since they infiltrate between the pores of the same, and may be in greater or lesser quantity according to the amount of space present, that is, the level of porosity.

In the case of the samples, the porosity above 50% allows that the capacity of cation exchange (CTC) in the soil is satisfactory, since the high content of organic matter in the samples are able to retain them, thus leading to a greater capacity of retention of nutrients and moisture as can be seen when considering the result of base saturation (SB), which provides us with the amount of negative charge in the compound, thus allowing us to

know the amount of exchangeable bases available, i.e., dependent on pH in the samples. This last factor is also related to the saturation level of aluminum and the saturation per base, which reflects the actual amount of bases occupied by interchangeable aluminum ions and other interchangeable cations, such as Calcium (Ca^{2+}), Magnesium (Mg^{2+}), Potassium (K^{+}) and Sodium (Na^{+}). As we can see in Table 3.

Table 3(a) - Physical evaluation of 10 treatments applied considering the biocatalyst (manure and organic sludge).

Tr. *	CS (%)	TS (%)	Silt (%)	CY (%)	Silt/CY (%)	D (g cm^{-3})	RPY	PY (%)
<i>Manure biocatalyst</i>								
T ₁	48.00±1.0 0 ^a	25.66±0.5 7 ^a	19.00±1.00 a	8.00±1.00 a	2.43±0.05 ^a	0.56±0.0 1 ^a	1.52±0.0 1 ^a	63.00±1.0 0 ^a
T ₂	36.00±1.0 0 ^b	34.33±0.5 8 ^b	24.00±1.00 b	6.00±1.00 ab	3.77±0.11 ^b	0.48±0.0 1 ^b	1.56±0.0 1 ^b	69.00±1.0 0 ^b
T ₃	31.00±1.0 0 ^c	39.33±0.5 8 ^c	25.00±1.00 b	6.00±1.00 ab	4.19±0.01 ^c	0.44±0.0 1 ^c	1.43±0.0 1 ^c	69.00±1.0 0 ^b
T ₄	30.00±0.5 7 ^c	38.33±0.5 7 ^c	25.00±1.00 b	6.00±1.00 ab	4.18±0.01 ^c	0.44±0.0 1 ^c	1.43±0.0 1 ^c	69.00±1.0 0 ^b
T ₅	42.00±0.5 7 ^d	25.66±0.5 6 ^a	28.00±1.00 c	4.00±1.00 b	7.99±0.01 ^d	0.48±0.0 1 ^b	1.49±0.0 1 ^d	67.00±1.0 0 ^b
<i>Organic sludge biocatalyst</i>								
T ₆	36.66±0.5 7 ^a	17.33±0.5 7 ^a	40.00±1.00 a	6.00±1.00 a	6.66±0.15 ^a	0.48±0.0 1 ^a	1.58±0.0 1 ^a	70.00±1.0 0 ^a
T ₇	44.33±0.5 7 ^b	26.00±1.0 0 ^b	28.00±1.00 b	2.00±1.00 b	13.95±0.0 5 ^b	0.35±0.0 1 ^b	1.47±0.0 1 ^b	76.00±1.0 0 ^b
T ₈	29.33±0.5 7 ^c	33.00±1.0 0 ^c	32.00±1.00 c	6.00±1.00 a	5.76±0.04 ^c	0.45±0.0 1 ^c	1.56±0.0 1 ^a	71.00±1.0 0 ^a
T ₉	35.66±0.5 7 ^a	37.00±1.0 0 ^d	21.00±1.00 d	5.66±0.57 a	3.72±0.02 ^d	0.65±0.0 1 ^d	1.60±0.0 1 ^a	60.00±1.0 0 ^c
T ₁₀	24.66±0.5 7 ^d	39.00±1.0 0 ^d	30.00±1.00 bc	7.00±1.00 a	3.82±0.02 ^d	0.86±0.0 1 ^e	1.96±0.0 1 ^c	56.00±1.0 0 ^d

*Tr = Treatments. Values are means ± standard deviation (n = 3). Different superscript letters indicate means that significantly differ among treatments at P < 0.05 (Tukey test). Coarse sand (CS), thin sand (TS), Clay (CY), cation exchange capacity (CEC), organic matter (OM), porosity (PY), density (D), real porosity (RPY).

Along with the physical factors described above and pH, organic matter contributes to the retention of colloids, due to the amount of negative charges in it that attract exchangeable cations to its surface, as well as attributes to the compound greater capacity of water retention.

Taking into consideration the standards adopted in the literature, the treatments in general present corresponding values above 60 g/dm³, meaning accumulation of organic matter. All treatments have a significant amount of organic matter above 6%, which is considered ideal in the literature. Enabling the fertilizers produced with different biocatalysts, as good alternatives for recovery of degraded soils.

It is important to note that the greater the amount of organic matter, the greater the resistance to loss of nutrients through leaching. Therefore, it can be said that the amount of organic material in compounds is satisfactory.

The amount of cations increases, in series preference of exchange, we have in first place the aluminum cation (Al^{3+}) which is closely linked to exchangeable acidity, this presents effect on a great number of cultures, being harmful in high levels, making the compound toxic and unfit for use when in levels of 10 mmol/dm^3 . In this context the treatments varied in values between $1.0 - 5.0 \text{ mmol/dm}^3$, which leaves them in the low and medium content ranges, qualifying them as suitable for use.

According to Embrapa (2018) in clay soils the content of Phosphorus (P) tends to be lower, since the extractor Melich is sensitive to clay in contrast to sandy soils tend to have a high degree (P). Taking into account that in general the treatments have been qualified as sandy soil, it is confirmed through the analysis that the phosphorus contents are characteristic of sandy soils, remaining above 120 mg/dm^3 , parameter number for high phosphorus index.

The high levels of potassium (K^+) indicate little weathering, while low indices indicate more weathered soils, having as ideal reference values to be considered satisfactory up to 6.0 mmol/dm^3 , so unanimously all experimentation is within the standard values.

Regarding the values of the macronutrient Sodium (Na), the main responsible for salinization and corrective component of acidity, it is considered ideal for a soil nourished proportions that can vary up to 10 mmol/dm^3 , so according to the analyses made it can also be affirmed that in its totality the compounds are within the acceptable parameters.

For calcium (Ca^{+2}) and magnesium (Mg), the minimum desirable values for good crop performance are between $4.0 - 7.0 \text{ mmol/dm}^3$ and $5.0 - 8.0 \text{ mmol/dm}^3$ respectively, classifying the treatments as a whole within the high content range, ranging from $91.0 - 121 \text{ mmol/dm}^3$.

Table 4(a) - Chemical evaluation of 10 treatments applied considering the biocatalyst (manure and organic sludge).

Tr.*	OM ¹	pH	P ²	K ³	Ca ³	Mg ³	Na ³	SB ³	Al ³	H ³	CEC ³	Na/CEC ⁴	Al/Al+SB ⁴	V ^d
<i>Manure biocatalyst</i>														
T ₁	92.00±1.00 ^a	6.90±0.01 ^a	205.00±1.00 ^a	3.80±0.01 ^a	102.00±1.00 ^a	28.00±1.00 ^a	7.50±0.10 ^a	141.36±0.20 ^a	1.33±0.57 ^a	8.00±1.00 ^a	150.60±0.36 ^a	5.06±0.11 ^a	0.70±0.10 ^a	94.16±0.15 ^{ac}
T ₂	120.00±1.00 ^b	7.20±0.01 ^b	613.00±1.00 ^b	4.50±0.01 ^b	111.00±1.00 ^b	33.00±1.00 ^b	8.30±0.10 ^b	156.90±0.10 ^b	2.00±1.00 ^a	8.00±1.00 ^a	166.80±0.20 ^b	5.03±0.05 ^a	1.30±0.10 ^b	94.13±0.15 ^{ac}
T ₃	139.00±1.00 ^c	7.20±0.01 ^b	613.00±1.00 ^b	4.10±0.01 ^c	121.00±1.00 ^c	54.00±1.00 ^c	7.40±0.10 ^a	186.53±0.25 ^c	3.00±1.00 ^a	9.00±1.00 ^a	198.70±0.26 ^c	3.70±0.10 ^b	1.60±0.10 ^c	94.10±0.10 ^{ac}
T ₄	131.00±1.00 ^d	7.20±0.01 ^b	335.00±1.00 ^c	5.20±0.01 ^d	91.00±1.00 ^d	49.00±1.00 ^d	8.90±0.10 ^c	154.30±0.26 ^d	2.00±1.00 ^a	8.00±1.00 ^a	164.46±0.35 ^d	5.40±0.10 ^c	1.30±0.10 ^b	93.86±0.15 ^{ab}
T ₅	135.00±1.00 ^c	7.20±0.01 ^b	219.00±1.00 ^d	5.20±0.01 ^d	108.00±1.00 ^c	50.00±1.00 ^d	9.00±0.10 ^c	172.13±0.15 ^c	1.34±0.57 ^a	9.00±1.00 ^a	182.50±0.40 ^c	4.90±0.10 ^a	0.60±0.10 ^a	94.53±0.25 ^c
<i>Organic sludge biocatalyst</i>														
T ₆	101.00±1.00 ^a	7.20±0.01 ^a	120.00±1.00 ^a	2.70±0.01 ^a	101.00±1.00 ^{ac}	18.00±1.00 ^a	6.00±1.00 ^a	127.66±0.15 ^a	1.33±0.57 ^a	8.00±1.00 ^a	136.73±0.25 ^a	4.40±0.10 ^a	0.80±0.10 ^a	93.63±0.20 ^a
T ₇	107.00±1.00 ^b	6.40±0.01 ^b	129.00±1.00 ^b	2.40±0.01 ^b	97.00±1.00 ^b	24.00±1.00 ^b	5.40±0.10 ^a	128.90±0.10 ^b	1.33±0.57 ^{ab}	8.00±1.00 ^a	137.76±0.25 ^b	3.90±0.10 ^b	0.80±0.10 ^a	93.56±0.20 ^a
T ₈	93.00±1.00 ^c	7.00±0.01 ^{ac}	212.00±1.00 ^c	2.60±0.01 ^{ab}	101.00±1.00 ^a	21.00±1.00 ^c	6.30±0.10 ^a	130.90±0.10 ^c	3.00±1.00 ^{acd}	7.00±1.00 ^a	140.86±0.15 ^c	4.50±0.10 ^{ac}	2.20±0.10 ^b	92.90±0.10 ^b
T ₉	80.00±1.00 ^d	6.90±0.01 ^{cd}	150.00±1.00 ^d	2.80±0.01 ^a	99.00±1.00 ^{ab}	17.00±1.00 ^a	6.30±0.10 ^a	125.30±0.20 ^d	4.00±1.00 ^{cd}	6.00±1.00 ^a	135.26±0.28 ^d	4.70±0.10 ^c	3.10±0.10 ^c	92.73±0.15 ^b
T ₁₀	73.00±1.00 ^c	6.90±0.01 ^c	193.00±1.00 ^c	3.40±0.01 ^c	102.00±1.00 ^{ac}	14.00±1.00 ^d	6.00±0.10 ^a	125.53±0.15 ^d	5.00±1.00 ^d	8.00±1.00 ^a	138.63±0.32 ^e	4.30±0.10 ^{ad}	3.80±0.10 ^d	90.70±0.10 ^c

*Tr = Treatments. ¹Values expressed in g dm⁻³. ²Values expressed in mg dm⁻³. ³Values expressed in mmol dm⁻³. ⁴Values expressed in %.

Values are means ± standard deviation (n = 3). Different superscript letters indicate means that significantly differ among treatments at $p < 0.05$ (Tukey test). Organic matter (OM), Cation exchange capacity (CEC).

The analysis of the main components and which variables influence the process can be visualized in Figure 1A and B.

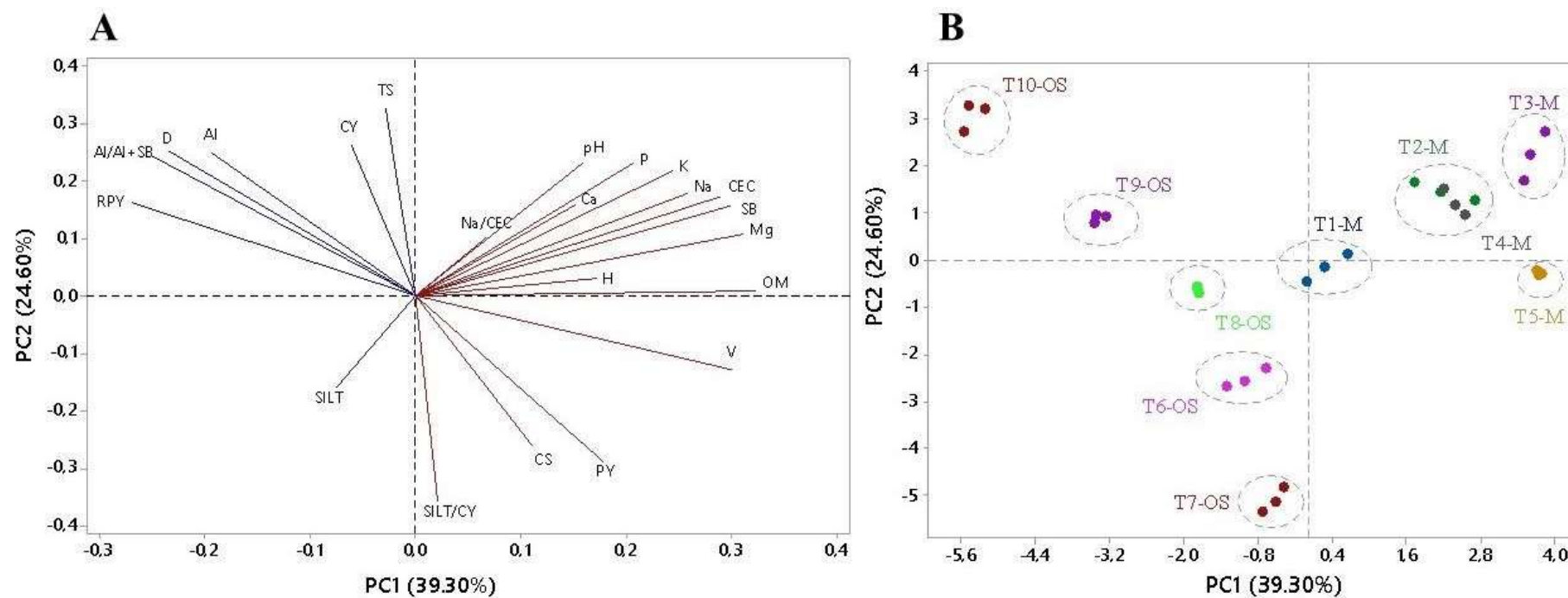


Figure 1(a) - Principal component analysis (PCA) for dimension 1 and 2: A, chemical and physical composition analysis; B, Treatments: T₁, T₂, T₃, T₄, T₅ – using manure (M) as biocatalyst and treatments: T₆, T₇, T₈, T₉, T₁₀ using organic sludge (OS) as biocatalyst. Clay (CY), fine sand (TS), coarse sand (CS), cation exchange capacity (CTC), organic matter (MO), porosity (PY), density (D), real porosity (RPY). Showing the different phases of your oxidation.

As shown in Fig. 1A, the two first dimensions of the PCA of all characteristics studied explained 60.60% of the variance. Two clusters of biocatalyst appeared (Fig. 1B): cluster #1 comprised five treatments (T10-OS, T9-OS, T8-OS, T6-OS and T7-OS) related with organic sludge biocatalyst, that presented high values for the physical parameters real porosity, Al/Al+SB and density, but presented low values in the chemical parameters SB, Mg, OM and V; cluster #2 contains others five treatments (T1-M, T2-M, T3-M, T4-M and T5-M) related with manure biocatalyst, that presented high values for the chemical parameters CEC, SB, Mg and OM and have a low real porosity, Al/Al+SB and density (Fig. 1A).

Table 5(a) – Main component analysis of physical and chemical variables.

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4
TS	0.111	-0.261	-0.270	0.155
CS	-0.028	0.327	0.164	0.398
Silt	-0.075	-0.159	0.218	-0.619
CY	-0.062	0.264	-0.220	-0.229
Silt/CY	0.021	-0.358	0.224	0.093
D	-0.235	0.254	-0.078	-0.071
RPY	-0.269	0.162	0.045	-0.204
PY	0.178	-0.289	0.179	-0.010
OM	0.324	0.008	0.121	-0.010
pH	0.159	0.232	-0.067	-0.455
P	0.207	0.230	0.196	0.091
K	0.243	0.218	-0.170	-0.030
Ca	0.152	0.159	0.327	-0.103
Mg	0.311	0.108	0.059	0.080
Na	0.258	0.180	-0.245	-0.019
SB	0.300	0.157	0.143	0.024
Al	-0.194	0.250	0.212	0.117
H	0.172	0.031	0.164	-0.244
CEC	0.290	0.174	0.159	0.021
Na/CEC	0.067	0.101	-0.549	-0.021
Al/Al+SB	-0.252	0.244	0.140	-0.132
V	0.301	-0.130	-0.139	0.025
Total variance (%)	39.3	24.6	11.6	6.9
Cumulate variance (%)	39.3	63.9	75.5	82.3

*Bold numbers indicate significant factors. Clay (CY), thin sand (TS), coarse sand (CS), cation exchange capacity (CEC), organic matter (OM), porosity (PY), density (D), real porosity (RPY).

In order to investigate possible correlations between all the variables studied, and to evaluate hypothetical models for the classification of samples, PCA technique was employed. Initially an evaluation of the relationships among the twenty-two variables relating to the two sets of treatments was conducted by PCA on the basis of a correlation data matrix in which the variables were standardized and attributed equal weight. The score plot so obtained (Figure 1B) revealed a discrimination of the samples into two different classes. The first principal component (PC1) was the most significant for

describing the model, accounting for 39.3% of the overall variance. The loading plot (Figure 1A), however, showed that the chemical variables were significant in describing variation in the data set to treatments using manure as biocatalyst. The same way, the physical variables were significant to the data set to treatments using organic sludge as biocatalyst. The loading plot also revealed that the chemical variables OM, Mg, SB and V were the most significant variables, among some variables observed to the biocatalyst manure.

In order to evaluate correlations between all variables. PCA analyses were conducted. From the PCA analyses it may be seen that the first four principal components (PCs 1-4) are the most significant in describing the model and, together, account for 82.3% of the overall variance (Table 4). Indeed, most of the information concerning the system (i.e. 72.4% of the overall variance) is conveyed by PC1 (39.9% of the variance) and PC2 (24.6% of the variance).

4. DISCUSSION

According to Weil et al. (2016) sandy soils can be defined as a patchwork of properties, derived from equal proportions of sand, silt and clay particles. It is noteworthy that despite this definition, this does not mean that all three fractions are present in equal quantities, since a small percentage of clay particles is sufficient to attribute the properties to that fraction to the soil.

The result of the physical characterization of the soils after the treatment shows that the soils maintained the sandy to silty to clayey structure. This texture is found in the soil of the State of Maranhão, located in the Legal Amazon region and is suitable for use in agriculture. Contrary to this study, Costa et al. (2018) physically characterized an agricultural soil contaminated with pesticides to sandy to silty. The authors point out that this type of soil contributes more to the adsorption of the contaminant to the soil, leaving more toxicity available. Our work corroborates that of Muscolo et al. (2018) that characterized the soil after composting treatment and observed a sandy to silty to clayey texture in the evaluated soil. The authors reinforce the importance of assessing soil texture, as it determines the ability of water and pollutants to be retained in the soil.

As for the chemical parameters of the soil, the pH of the soil in the ten treatments was around neutrality, which is favorable for agriculture, since the pH between 6.2 and 7.5 favors the activity of microorganisms responsible for the fertility of the soil. Contrary to the results obtained in this work, Muscolo et al. (2018) show soils with much higher pHs around 8.0, which can be harmful to the soil.

The pH and organic matter available in the soil contribute to the colloid retention. Due to the amount of negative charges, they attract exchangeable cations to their surface, thus improving the water's holding capacity of the compound (TAVARES FILHO, 2016). In the present study, all treatments have a significant amount of organic matter above 6% available for plant and soil, which is considered ideal by Teixeira; Donagemma; Fontana (2017). Thus, the fertilizers produced, regardless of the amount of fiber or the biocatalyst used, present themselves as a possible alternative for the recovery of degraded soils.

The availability of aluminum in the soil is directly linked to its exchangeable acidity. Thus, the greater the accumulation of this medium, the more toxic it is for cultures in general. The increase in the amount of cations (Al_3^+) prevents fertilization of the compound, being considered inappropriate for use when the aluminum contents are above 10 mmol/dm³ (RAIJ, *et al.*, 2001). In this context, all treatments varied in values between 1.0 - 5.0 mmol / dm³, which leaves them at low and medium levels, qualifying them as suitable for fertilization.

According to Crusciol *et al.* (2020), there are different categories to classify exchangeable P and K in the soil. For phosphorus, classes of cultures called: silviculture; perennials; annuals and plants, with soil and plant availability rates determined as follows: 0 to 10 mmol / dm³ very low; 3 to 25 mmol / dm³ low; 26 to 60 mmol / dm³ on average; 61 to 120 mmol / dm³ in height and above 120 mmol / dm³ very high. For potassium, the ranges are: 0.0 to 0.7 mmol / dm³ very low; 0.8 to 1.5 mmol / dm³ low; 1.6 to 3.0 mmol / dm³ on average; 3.1 to 6.0 mmol / dm³ high and above 6.0 mmol / dm³ very high. In the present work, all treatments with or without fiber and regardless of the biological catalyst were in the low to medium range for the availability of K in the soil, and from low to medium for P, demonstrating that the fertilizers formed have potential for fertilization.

Regarding the values of the macronutrient Sodium (Na), the main responsible for salinization and corrective component of acidity, it is considered ideal for a proportion of soil nutrition that can vary up to 10 mmol / dm³. For the parameters of Ca and Mg, the minimum desirable values are: 4.0 - 7.0 mmol / dm³ and 5.0 - 8.0 mmol / dm³ respectively. It can be said that these nutrients are well above the desirable in the literature for fertile fertilizers. More importantly, it is important to note that the material produced has a high CTC, which can mitigate the toxic effect of the high concentration of these micronutrients.

In the present study, the average ratio between Ca and Mg was 2.7: 1 for the feces biocatalyst and 5.4: 1 for the sludge biocatalyst, which is below the ideal for the literature, which is 6: 1, but it is important note that the compounds formed in all treatments have

high levels of organic matter, which is characterized as one of the sources of Mg replacement for soils, thus being able to guarantee good levels of this macronutrient in the compound. The results described above corroborate those of Rodrigues *et al.* (2015) who evaluated the influence of organic residues from households, agriculture and agro-industry (organic sludge) on the efficiency of the composting process and on the final quality of the compost produced, replacing the fiber sources and varying the biocatalysts, they also showed proportions of proportions between this macronutrient below those listed in the literature, recommending a correction of the C / N disposition ratio for the compounds.

It is important to point out that by decreasing the amount of fibrous material in the windrows, it is directly influencing the C/N ratio of the compounds to be formed, and even so the results for Ca with the addition of the stool biocatalyst and decrease of the fibrous material showed an improvement in the disposition of this element in the formed organic fertilizer. As for the organic catalyst organic sludge, the ratio of this macronutrient remained practically without difference in all treatments (Table 4), which may indicate that the chemical composition of the biocatalyst may influence the disposition of nutrients in the formed compound.

5. CONCLUSION

The gradual decrease in fiber in the composting process, for the two tested biocatalysts (bovine feces and organic sludge) demonstrates that the best rate of mixtures between the fibrous part and organic waste is 50% for each material.

In addition, the total removal of fiber in the two processes studied, presented itself as a viable alternative for the production of organic fertilizers, thus facilitating the use of this recycling technique in all urban or rural realities, which helps to avoid accumulation and destination inadequate use of this waste in dumps and landfills across cities.

In this way, the inclusion of the organic sludge biocatalyst to replace the traditional one (animal feces), and the reduction of the fibrous material content in the composting process, can be presented as viable alternatives for the formation of quality organic fertilizers, in addition to an alternative effective treatment of this waste.

REFERENCES

ABRELPE. Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil - 2015**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br>>. Acesso em: 25 de fev. 2022.

ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S. **Gestão de bioresíduos situação e perspectivas**. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1 ed. **Anais**. Curitiba, 1998.

BRANCO, S.; MURGEL, P. H.; CAVINATTO, V. M. Compostagem: solubilização biológica de rocha fosfática na produção de fertilizante organomineral. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 115-122, 2001.

COSTA, F. K. D.; MENEZES, J. F. S.; ALMEIDA JÚNIOR, J. J.; SIMON, G. A.; MIRANDA, B. C.; LIMA, A. M.; LIMA, M. S. Desempenho agrônomo da soja convencional cultivada com fertilizantes organomineral e mineral. **Nucleus**, v.15, n.2, 2018.

CRUSCIOL, C. A. C.; CAMPOS, M.; MARTELLO, J. M.; ALVES, C. J.; NASCIMENTO, C. A. C.; PEREIRA, J. C. R.; CANTARELLA, H. Organomineral fertilizer as source of P and K for sugarcane. **Scientific Reports**, v. 10, n. 5398, 2020. **DOI:** <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62315-1>.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2018.

FILHO, O. S.; AGUIAR, A. C. M.; SILVA, E. C. R.; PEREIRA, T. C.; FERREIRA, J. A.; BORGES, A. C. Projeto Estiva: uma iniciativa de gestão de resíduos sólidos urbanos em comunidades de baixa renda. **Revista ELO – Diálogo em Extensão**, Viçosa, v. 06, n. 03, 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama, cidades**: São Luís – Maranhão. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/sao-luis/panorama>. Acesso em: 30 out. 2022.

INÁCIO, C. T.; MILLER, P. R. M. **Compostagem**: Ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

MUSCOLO, A.; PAPALIA, T.; SETTINERI, G.; MALLAMACI, C.; JESKE-KACZANOWSKA, A. Are raw materials or composting conditions and time that most influence the maturity and/or quality of composts? Comparison of obtained composts on soil properties. **Journal of Cleaner Production**, 2018. **DOI:** <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.204>.

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

RODRIGUES, A. C.; FRANÇA, J. R.; SILVEIRA, R.B.; DA SILVA, R. F.; ROS, C. O.; KEMERICH, P. D. C. Compostagem de resíduos orgânicos: eficiência do processo e qualidade do composto. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer. Goiânia, v.11 22 ed. p. 759, 2015. **DOI:** http://dx.doi.org/10.18677/Enciclopedia_Bfera_2015_116

TAVARES FILHO, J. **Física e conservação do solo e água**. Londrina: Eduel, 2016.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A. **Manual de métodos de análise de solo**. 3 ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017.

WEIL, R.R.; BRADY, N.C. **The nature and properties of soils**. 15. th. London: Pearson, 2018.

Artigo submetido a revistas HOLOS, Qualis A1 2017-2020.

REALIZAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM COM SATURAÇÃO HÍDRICA E VARIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO FIBROSA DAS LEIRAS.

CARRYING OUT THE COMPOST PROCESS WITH HYDRIC SATURATION AND VARIATION OF THE FIBROUS COMPOSITION OF THE COMPOST PILE.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo a utilização de fontes fibrosas alternativas para realização do processo de compostagem e a exposição dos tratamentos ao estresse hídrico, com a finalidade de testar se o mesmo, influencia na qualidade dos compostos orgânicos formados. Todas as leiras experimentais possuíam 1,5kg de massa sendo 50% de material fibroso e 50% de material orgânico. Os tratamentos foram delineados da seguinte forma: T1 controle 900mL H₂O – (50% material fibroso e 50% matéria orgânica); T2 900mL H₂O – (50% bagaço de cana e 50% matéria orgânica); T3 900mL H₂O – (50% folha e 50% matéria orgânica); T4 900mL H₂O – (25% cana + 25% folha e 50% matéria orgânica); T5 900mL H₂O – (25% bagaço de cana + 25% grama e 50% matéria orgânica); T6 900mL H₂O – (16,67% folha + 16,67% cana + 16,67% grama e 50% matéria orgânica), a constituição percentual dos tratamentos T7; T8; T9; T10; T11 e T12 seguem respectivamente o padrão dos tratamentos T1 à T6, com a utilização de 1,5L de H₂O (100%) que é equivalente ao estresse hídrico das leiras. A variação da fibra nas leiras, aumentaram os índices de disponibilidade dos nutrientes nos compostos formados, assim, tornando o bagaço de cana, uma alternativa fibrosa viável, para a constituição de compostos orgânicos pelo processo de compostagem.

Palavras Chave: Disponibilidade de Nutrientes, Fontes Fibrosas, Matéria Orgânica

ABSTRACTS

The present work aimed to use alternative fibrous sources to carry out the composting process and expose the treatments to hydric saturation, with the purpose of testing whether this influences the quality of the organic compounds formed. All experimental windrows had a mass of 1.5 kg, with 50% fibrous material and 50% organic material. The treatments were designed as follows: T1 control 900mL H₂O – (50% fibrous material and 50% organic matter); T2 900mL H₂O – (50% sugarcane bagasse and 50% organic matter); T3 900mL H₂O – (50% leaf and 50% organic matter); T4 900mL H₂O – (25% sugarcane + 25% leaves and 50% organic matter); T5 900mL H₂O – (25% sugarcane bagasse + 25% grass and 50% organic matter); T6 900mL H₂O – (16.67% leaf + 16.67% sugarcane + 16.67% grass and 50% organic matter), the percentage constitution of T7 treatments; T8; T9; T10; T11 and T12 respectively follow the pattern of treatments T1 to T6, with the use of 1.5L of H₂O (100%) which is equivalent to the hydric saturation of the windrows. The variation in fibrous content in the windrows increased the levels of nutrient availability in the compounds formed, thus making sugarcane bagasse a viable fibrous alternative for the constitution of organic compounds through the composting process.

Key-word: Availability of Nutrients, Fibrous Sources, Organic Matter.

1. INTRODUÇÃO

The change in habits initiated by society in the Industrial Revolution, which brought massive production and excessive consumption of materials, ended up implementing a policy of rapid disposal of products, due to the early obsolescence of technologies. These practices had impactful consequences, as the increase in waste generation brought with it the need for more rigorous management, especially of urban solid waste storage facilities. Therefore, currently solid waste is identified as one of the most serious problems of modern society, altering the quality of water; donate; of soils; in addition to contributing to the increase in the greenhouse effect with the emission of methane and nitrous oxide (TORRES e LANGE, 2022; FERREIRA, ALMEIDA e ASSUNÇÃO, 2020; ARRUDA e TREVIZAN, 2023).

The growing population of recent decades, without planning, with deficient urbanization, and with the economic development of various sectors of the population, has changed society's lifestyle, stimulating consumption, and greater production of inputs, which give rise to a diversity of solid waste, with the most varied molecular compositions. In this way, the need to store these materials in appropriate treatment locations grows directly proportional to the volume of waste produced, as when these are disposed of in inappropriate conditions in the environment, they trigger a series of negative environmental impacts on the environment (MARCHI e GONÇALVES, 2020).

Due to these factors, in recent years, concerns about the appropriate treatment of this waste have become evident in large centers. Since society's interactions with the environment, exploring it in a faster and more significant way, are leading governments, public initiatives, and the private sector, to present new social and economic positions for the treatment of urban solid waste, and consequently to deal with the anthropogenic changes they trigger in the environment (MATIAS, MASTEGHIN e EMPERADOR, 2020).

According to the Brazilian Association of Public Cleaning and Special Waste Companies Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2023), during 2022, Brazil generated approximately 81.8 million tons of waste, corresponding to approximately 224 thousand tons per day. Of this total produced, 46.2 million tons were properly disposed of (60.5%), and around 30.18 million tons (39.5%) were not adequately disposed of. Of the 46 million tons arranged correctly. Only 4.27 million were reused and/or recycled, therefore not destined for landfills. The large volume of waste produced in large centers, around 50%, is organic waste, composed of:

animal and plant remains from human activities. These, when sent to landfills, shorten their useful life, as they take up space that should be used to store dry waste.

Therefore, it is necessary to adopt management and treatment measures for this large volume of waste, as the organic matter present in its composition must be stabilized, thus, instead of polluting the soil, it will be used for its fertilization (MORALES *et al.*, 2019). When separated into their generating sources, organic waste can be transformed into organic fertilizers. This process can be carried out on different scales and technological models, which can generate soil-conditioning fertilizers, stimulating nutrient recycling, and protecting it against erosion and leaching (ORTOLI, DELALIBERA, SANTOS e GEYSLER, 2023).

Therefore, since 2010, the National Solid Waste Policy has established that organic waste generated from urban, rural and industrial activities must be reused through composting. This is a process of decomposition of organic material, through the action of microorganisms, with or without the presence of oxygen, which originate biocompounds of high agronomic value, which can be used as soil corrective, in the most varied forms of cultivation (BETTIOL, SILVA, CERRI, MARTIN e ANDRADE, 2023).

Composting is an aerobic biological oxidation process used in the treatment and stabilization of organic waste for the production of humus (SOUZA, CARMO e SILVA, 2020). The composting process is of great importance for public health, the environment and the economy, as organic waste generated in urban centers and industries can be properly recycled through this process, and its application can be directed towards the treatment of waste from small companies; for industrial and residential projects (GERUDE, PEREIRA, LIMA, SILVA e MIRANDA, 2023).

In Brazil, industrial and organic waste is produced on a large scale, mainly in the agricultural sector, with a large part coming from animal husbandry and vegetable production, as this sector concentrates a range of agricultural/industrial activities, being responsible for 1/3 of the country's Gross Domestic Product (Souza *et al.*, 2020). One of these residues, with a large annual mass production, is sugarcane bagasse, which in the 2022/2023 Brazilian harvest, produced 610.1 million tons, with the state of São Paulo being the largest producer in the world. Country. After processing the sugarcane, the bagasse is equivalent to 30% of the original bagasse (PRODUÇÃO DE CANA, 2023). In some regions of the country, this green mass is used to generate biomass energy, but not all of the excess is used, and ends up being underutilized (Maciel, 2020). Even though it is a material rich in cellulose, with a C/N content of 28/2, it ends up being wasted and

discarded as waste (Ferreira *et al.*, 2020). Due to these characteristics mentioned above, it becomes viable to test it as a fibrous material in the composting process of solid urban waste.

In addition to fiber, humidity is one of the fundamental factors for the composting process. The moisture content of the windrows refers to the amount of water absorbed in it, being one of the limiting parameters for microorganisms, and therefore must be monitored during composting, so that the process develops satisfactorily (MARCHI e GONÇALVES, 2020). The decomposing material must always be moist, between the limits of 40% and 60% humidity, with lower values preventing fermentation and higher values may impair aeration. The material needs to be moist, without, however, allowing water to drip when pressed (SOUZA *et al.*, 2021).

Therefore, the present work aims to use sugarcane bagasse as an alternative fibrous source to replace the traditional ones (leaves, grasses and prunings in general), exposing the treatments to controlled hydric saturation, to verify the influence of the contents of moisture in the composting process.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Sample Collection and Experimental Design

The experimental analysis was carried out on the campus of CEUMA University, in the Environmental Practices Laboratory of the Turu unit, in São Luís – MA, from June 13th to August 11th, 2022. The experimental windrows were constituted in all treatments, from 1.5Kg of material, divided into: 50% organic material and 50% fibrous material, collected on the premises of the CEUMA University, and in the corral of the State University of Maranhão – UEMA.

All treatments in the experiment in question followed the ideal composting pattern, described by Gerude *et al.* (2023): being 50% fibrous material (sugarcane bagasse, leaves and grass clippings) and 50% organic material (25% food waste and 25% bovine feces), with fibrous waste being the organic waste crushed in the Organic/Forage Crusher, with the experimental design described in the table below:

Tabela 01(b) – Composition of Experimental Treatments.

Treatments	Fibrous Material	Organic Material
T ₁ /T ₇	375g Leaf	375g Food Leftovers
	375g Grass Pruning	375g Cattle Manure
T ₂ /T ₈	750g Sugarcane bagasse	375g Food Leftovers
		375g Cattle Manure
T ₃ /T ₉	750g Leaf	375g Food Leftovers
		375g Cattle Manure
T ₄ /T ₁₀	375g Leaf	375g Food Leftovers
	375g Sugarcane bagasse	375g Cattle Manure
T ₅ /T ₁₁	375g Grass Pruning	375g Food Leftovers
	375g Sugarcane bagasse	375g Cattle Manure
T ₆ / T ₁₂	250g Grass Pruning	375g Food Leftovers
	250g Leaf	375g Cattle Manure
	250g Sugarcane bagasse	
Hydration Percentage of Treatments (H ₂ O)		
T ₁ à T ₆	900ml of H ₂ O	60% of Moisture
T ₇ à T ₁₂	1.500 ml of H ₂ O	100% of Moisture

Source: Authors (2023)

The constitution of treatments T₇ to T₁₂ respectively follows the standard of treatments T₁ to T₆, in its constitution of fiber and organic matter, but with the use of 1.500 ml of H₂O (100% of the mass) for humidification, to simulate the equivalent of windrow hydric saturation .

To oxygenate the windrows, they were manually turned over every 48 hours using a latex glove to carry out the process, as according to Pereira Neto (2007) turning the windrows has two basic functions: providing aeration of the mass and dissipating the high temperatures (>65 °C) developed in the active degradation phase. Irrigation for the entire process was carried out daily in treatments with hydric saturation , and every 48 hours in the others, using a Top Garden OKLA 1.500 ml plastic watering can, outlined T₁ to T₆ were irrigated with 60% H₂O (900mL), T₇ to T₁₂ with 100% H₂O (1.5L).

After the 60 days of experiment, the treatments were sieved, packaged and identified in 1kg plastic bags, and transported to the Soil Chemistry laboratory – LABQLS of the State University of Maranhão – UEMA, to carry out chemical analyzes (Organic matter, pH, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium and aluminum) and physical (particle size composition, texture, density and porosity) of the compound.

2.2 Laboratory Analysis

The methodology applied for the chemical and physical analyzes of the samples was based on the manual of soil analysis methods from the Brazilian Agricultural Research Corporation (Teixeira, Donagemma, Fontana e Teixeira, 2017). The samples from all treatments were dried for 24 hours at room temperature and identified. The material was passed through a 2mm sieve, so that the samples were uniform and without lumps.

The chemical attack of the samples is done individually for each type of parameter to be analyzed. And for physical analyses, the pipette method was adopted, weighing 20g of soil in a 250ml plastic cup, adding 100ml of water and 10ml of normal sodium hydroxide solution, or 10ml of sodium hexametaphosphate, buffered with sodium carbonate. sodium. It was stirred with a glass rod and left to rest for approximately 24 hours (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

2.3 Statistical Analysis

Statistical analyzes were performed using Origin, through the multivariate analysis technique, and Principal Component Analysis (PCA) was also used as an additional tool, using the Minitab statistical program for Windows (version 17.3.1).

The physical and chemical analyzes of the results were expressed as means and standard deviations ($\pm$ SD), and the data were evaluated by analysis of variance (ANOVA) with a nested design considering the 12 treatments, and hydric saturation as factors, and physical parameters and chemicals as dependent variables. The paired post-hoc test between all treatments was performed using the Tukey test (with $p < 0.05$), and for each set of analyzes (physical and chemical), a principal component analysis (PCA) was applied to the mean values of three replications to identify correlations between sets of analyzes (physical and chemical) and group treatments accordingly.

All statistical analyzes were performed using Origin Pro 8.5 software (OriginLab, MA, USA). Principal Component Analysis (PCA) was also used as a complementary tool, using Minitab 17 software (Minitab; USA) (LINGJIE, 2015; ANDRADE, BLASQUES, VILLIS, SILVA e GOMES, 2020; MUNIZ *et al.*, 2020).

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The chemical analyzes of the treatments can be viewed in Table 02, which demonstrates that the exposure of the treatments to hydric saturation, and the addition of the

fibrous source of sugarcane bagasse, even statistically altering the composition of the organic matter of the fertilizers, all obtained values equal to or greater than 6.0g/dm³ of OM, which according to EMBRAPA (2018), is the minimum value for superior quality soils. In this way, exposure to hydric saturation in the windrows, and use of the alternative fibrous source, did not invivialize or catalyze the decomposition and availability of organic matter in the treatments.

According to Gerude *et al.*, (2023b) it is important to highlight that the greater the amount of organic matter, the greater the resistance to nutrient loss through leaching. And fiber content between 50% is important for maintaining humidity and maturation of the compounds. Therefore, the results of this work corroborate these statements by the aforementioned authors, where the use of 50% fibrous material regardless of the source, and the maintenance of humidity, formed fertilizers with high MO availability for soils and plants.

The pH values varied in relation to treatments without and with hydric saturation on average of 7.37, corresponding to the values described by other authors, in the formation of organic compounds, from the decomposition of solid residues of animal and vegetable origin. Velho *et al.*, (2021) studying the composting of the organic fraction of food waste to produce organic compounds, obtained average pH values between 7.5. These data are in agreement with those found in the experiment, as both used bovine feces in their windrow compositions as biocatalysts, which helps in the release of nutrients, maintaining the stability of the compound and the action of microorganisms. The addition of sugarcane bagasse to the composition of the windrows, due to the particle size of the material, as in the present work, improves aeration and reduces the compaction of the windrows, helping to maintain the pH tending towards neutrality.

With the reduction of fibrous sources (without the presence of grass pruning) in the treatments (T₂; T₃; T₄; T₈; T₉; T₁₀), the amount of P decreased. With the use of grass pruning in the fibrous composition of the treatments (T₁; T₅; T₆; T₇; T₁₁; T₁₂) the nutrient concentration increases significantly, even in treatments with hydric saturation. Demonstrating that the amount of humification of the windrows did not make the nutrient unavailable in the compounds formed. According to Martinez, Marotta and Mangas (2021), P enters soils from organic sources formed by: branches, dead roots, leaves, plant remains, manure applications, or mummified organic matter. This corroborates the present work, as the greater the diversity of fibrous sources in the treatments, the greater the concentration of phosphorus in the compounds. It is important to emphasize that P plays a fundamental

role in root development, energy transport, and the formation of DNA and RNA in plants. This is released in two forms in the soil, as its mobility is restricted, the adsorbed fraction (slower form), and the soluble phase (more effective) (BETTIOL *et al.*, 2023). This restricts the use of agricultural soils, which are only made viable with the addition of external sources of P, mainly with fertilizers with high levels of this nutrient. Therefore, according to Garcia and Mendes (2022), the use of alternative and organic sources of P concentrations in soils can contribute to production and sustainable agriculture, in addition to being a viable alternative for reducing chemical sources of phosphates.

In the present experiment, all treatments had P concentration rates above that described as minimum by EMBRAPA (2018), based on soil textures, which were 40mg/dm³ at critical levels. In treatments without hydric saturation (T1 to T6) the average P concentration was 192.55mg/dm³, and in treatments with hydric saturation, the average was 286.66mg/dm³. In this case, the organic compounds formed can be significant sources of P for the soil, due to their high concentration. According to Martinez (2021), high concentrations of P can inhibit the absorption of other nutrients, but toxicity due to excess phosphorus is rare in plants, as P in the soil is fixed to colloids and becomes unavailable, as their spaces are occupied by organic matter made available by soil microorganisms. In the present work, in addition to the high concentrations of OM in the treatments, which help control soil P. The base saturation – SB in all treatments was above 50% and the cation exchange capacity – CTC was medium to high, varying between 95 and 135mmol/dm³ in all compounds, thus attesting that even with the high phosphorus concentration, the exchange and movement of nutrients from compounds, with the soil and plants, will not be compromised.

For the K concentration of the treatments, all had aesthetic differences from the control treatment, between treatments from T2 to T6 (without hydric saturation), the variation in fibrous sources contributed to the change in the concentrations of potassium amounts in the compounds, mainly in the treatments with higher concentrations of leaves. This behavior is due to the low presence of water in their composition, and as a result, they are not able to maintain potassium ions in their molecules (T3, T4). In treatments with hydric saturation, with higher concentrations of leaves in the fibrous part (T9 and T10), the loss of K potassium was even more evident, due to the fact of constant leaching, due to the high amount of water poured into the treatments. These results are in line with those described by Sena, Arruda, Costa and Almeida (2019), who, when using dry leaves to compose the

fibrous part of their composting windrows with an average interval of 60 experimental days, found potassium values of 8.3mmol/ dm³ in the compounds formed.

For treatments with the presence of only sugarcane bagasse (with and without hydric saturation), as a fibrous source, average percentages of 8.20 and 4.69mm/dm³ were obtained respectively, where only T2 without hydric saturation presented satisfactory values of K potassium for fertile soils, which according to Bettiol *et al.*, (2023) is 6.0 mmol/dm³, which can be explained by the larger granulometry of the sugarcane bagasse fiber, which allows more spaces for the entry of light and water inside the windrows, favoring leaching, and consequently the loss of these nutrients. It is important to highlight that sugarcane bagasse is mainly composed of the plant's stems, a region that has the highest concentration of K in its plant anatomy and physiology (OLIVEIRA *et al.*, 2022). In the present work, it is evident that the treatments that have sugar cane and pruned grass together as fibrous sources, (T₁; T₇; T₅; T₁₁; T₆; and T₁₂), these fixed more moisture, and reduced the loss of nutrients through leaching. and evaporation of water, as potassium levels are all high, above 6.0mmol/dm³. These results are in line with those described by Gerude *et al.*, (2023b), who obtained low average potassium values, 3.6mmol/dm³, in the formation of organic compounds, with the reduction of windrow fibers.

Ca has some important functions for soil and plants, both structurally and permeably. The most common way of absorbing this macro nutrient is through its ionic strength (Ca⁺²), existing in the soil solution (SILVA *et al.*, 2020). In the compounds formed in the aforementioned experiment, the values of this nutrient are considered very high, as according to Bettiol (2023), values above 7mmol/dm³ are very high for this parameter. It can be seen that in the compounds formed, regardless of the fibrous source, the constant addition of water (T₇; T₈; T₉; T₁₀; T₁₁; and T₁₂), increased the availability and quantity of Ca for the soil and plants, this probably due to greater exposure of the nutrient to humidity, stimulating the formation of ions in the compound solution. Another factor, which may justify the high concentration of Ca in the compounds formed, refers to the biological catalyst of windrows, bovine feces, which are significant sources of this nutrient. According to Alves *et al.*, (2021) who evaluated the addition of different organic materials with biocatalysts of animal origin, the Ca levels found were 44.00mmol/dm in the compost generated, after the composting process. The results of this article are still validated by studies by Santos *et al.*, (2018), who carried out a physical-chemical evaluation of organic fertilizers from composting with various residues from agricultural

activities, describing that the ideal pH range for these compounds varies between 5 and 6.5, if the substrates tend to neutrality, the compounds will be rich in calcium and magnesium, which can be observed in the present experiment.

Mg is an important macronutrient for the formation of chlorophyll molecules, to optimize light absorption and energy transfer for photosynthesis (SANTOS, 2022). In the present articles, in all treatments (with or without hydric saturation), the levels of this nutrient were above 8 mmol/dm³, indicating high concentrations in the compounds formed (EMBRAPA, 2018). This is due to the fact that all fibrous sources are potentially rich in chlorophyll molecules, due to being composed of large amounts of leaves (T₁; T₃; T₄; T₅; T₆; T₇; T₉; T₁₀; T₁₁; T₁₂). This molecule has magnesium as its central atom, and its concentration in plants is highest in the leaves, so with the decomposition of the material by microorganisms in the composting windrows, Mg is released in large quantities in the compounds formed. In treatments with only sugar cane as a fibrous source (T₂ and T₈), these also obtained higher levels of Mg, in relation to those described in the literature as acceptable in fertile soil. This is due to the fact that some varieties of sugar cane accumulate certain concentrations of magnesium in their stalks, as this helps in the transport of sucrose and in the accumulation of reserve energy in the plants.

According to Costa *et al.*, (2019b) who evaluated eleven varieties of sugar cane grown under irrigation, they have the ability to accumulate nutrients N; P; K; Mg, in its aerial parts: stems, leaves and tips. In this way, corroborating the data from the present work. It is also important to highlight that in the present experiment the Ca and Mg ratios are on average 1.5:1 respectively, in all treatments, that is, below the ideal described in the literature, which is between 3 and 5:1. These ideal indices facilitate synergistic interaction between the respective nutrients, which thus work together for better absorption. In the case of compounds formed in the work, there may be difficulties in the process of their absorption by the soil and by plants, due to the proportions between them, but this difficulty can be compensated by the high CTC rates described in the compounds formed. According to the ESALQ/USP Research and Extension Support Group - GAPE (Dearo, 2019), they reported that the Ca:Mg proportions are actually the closest to ideal, the values mentioned above (3:1 to 5:1), however, described that research regarding these interactions is ambiguous and does not actually guarantee that maintaining these levels will or will not bring more productivity and gains in practice.

The presence of excess Na in the soil can harm plants, as it has high solubility, and at high levels it increases electrical conductivity and consequently soil salinity, harming plant growth (AZEVEDO, OLIVEIRA, MARTINS, SILVA e RIBEIRO, 2018). In the experiment described, regardless of the fibrous sources, with the increase in moisture content, sodium concentrations decreased, as the higher concentration of water influences the solubility of this macronutrient. The Na values of the treatments were above 10mmol/dm³ described as ideal by EMBRAPA (2018), only T₈; presented lower values, with 8mmol/dm³, probably due to the spaces between the sugar cane fibers, which allowed greater passage of water in the compound formed in this treatment.

Table 02 also describes the Na/CTC values that are exchangeable Na in the soil. The higher the percentage of sodium among exchangeable cations (Calcium, Magnesium and Potassium), the lower the soil saturation will be (RIBEIRO, 2021). The Na/CTC values for treatments with hydric saturation (T₇; T₈; T₉; T₁₀; T₁₁; T₁₂) have rates lower than 10mmol/dm³, which demonstrates that for the compounds formed, the large amount of water in the treatments, helped in regulating the salinity of the compounds. Even with high Na values in the compounds, the movement of exchangeable ions will not be affected, as the base saturations (BS) of all treatments, regardless of the fibrous source and moisture content, were above $V \geq 94\%$ average, characterizing the compounds as strophic, that is, with good fertility rates. According to Ribeiro (2021), base saturation is an excellent indicator of general soil conditions. Soils with low fertility rates have values of $V < 50\%$, called dystrophic soils, while soils with high fertility rates have $V \geq 50\%$, called eutrophic soils.

Most of the soil's Cation Exchange Capacity (CEC) is dominated by essential cations, such as: Ca²⁺; Mg²⁺ and K²⁺, we can conclude that this soil is suitable for plant nutrition. On the other hand, if a large proportion of the CEC is occupied by potentially harmful cations, such as H⁺ and Al³⁺, the soil will be considered unsuitable for cultivation (COSTA, 2019b).

Based on the results of this experiment, we observed that the predominant cations are K, Ca and Mg, which suggests that the soil has a rich availability of nutrients. This abundance of beneficial cations positively influences soil stability and its chemical reactions, thus promoting favorable fertility for the cultivation of agricultural inputs.

Figure 01 demonstrates the Principal Component Analysis – ACP for dimensions 1 and 2 shows the distribution of treatments in relation to the analyzed chemical parameters, being: T₁/T₇ (50% fibrous material and 50% organic matter), T₂/T₈ (50%

sugarcane bagasse and 50% organic matter), T₃/T₉ (50% leaf and 50% organic matter), T₄/T₁₀ (25% sugarcane + 25% leaf and 50% organic matter), T₅/T₁₁ (25% sugarcane bagasse + 25% grass and 50% organic matter) and T₆/T₁₂ (16.67% leaf + 16.67% sugarcane + 16.67% grass and 50% organic matter).

To investigate possible relationships between the studied variables and evaluate hypothetical sample classification models, the Principal Component Analysis (PCA) technique was used. Initially, an analysis of the interactions between the twenty-two variables from the two sets of treatments was carried out using PCA, using a correlation matrix in which the variables were standardized and weighted equally. From the analysis of the first principal components, Principal Component 1 (PC1) was able to statistically explain 33.10% of the total variation in the data. The first two dimensions of the PCA managed to explain 64.50% of the total variability.

The formation of two main clusters can be observed, confirming Graph 01: the first is associated with the concentrations of K, Na/CTC, Na, P, Ca, MO, CTC, SB and pH, referring to treatments T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, T₆ and T₇, which presented conditions of 60% hydric saturation. The second grouping is related to the concentrations of Al, Al+SB, pH and Mg, related to treatments T₈, T₉, T₁₀ and T₁₁, which faced 100% hydric saturation. It is worth noting that the reference treatment (T₁) demonstrated the highest concentrations of K and Na, while treatments T₇ and T₁₂ showed positive correlations with the MO, Ca and CEC parameters.

Table 2(b): Chemical analysis after composting of the treatments used varying the fibrous material and catalyst.

Tr.*	MO ¹	pH	P ²	K ³	Ca ³	Mg ³	Na ³	SB ³	Al ³	H ³	CTC ³	Na/CTC ⁴	Al/Al+SB ⁴	V
T ₁	93,33±0,57 ^a	6,83±0,05 ^a	613,33±0,57 ^a	13,33±0,57 ^a	65,33±0,57 ^a	32,33±0,57 ^a	20,5±0.10 ^a	130,36±0,15 ^a	-	8,16±0,15 ^a	138,46±0,05 ^a	14,76±0,05 ^a	-	94,33±0,15 ^a
T ₂	78,33±0,57 ^b	7,16±0,05 ^b	122,66±0,57 ^b	8,20±0,10 ^b	35,00±1,00 ^b	30,66±0,57 ^a	14,9±0.10 ^b	88,90±0,10 ^b	-	7,23±0,20 ^b	95,83±0,05 ^b	15,50±0,10 ^b	-	92,60±0,10 ^b
T ₃	90,33±0,57 ^a	7,26±0,05 ^b	150,33±0,57 ^c	8,66±0,05 ^b	60,33±0,57 ^c	37,66±0,57 ^b	14,4±0.10 ^c	120,33±0,57 ^c	-	8,10±0,10 ^a	128,26±0,25 ^c	11,26±0,05 ^c	-	93,76±0,05 ^c
T ₄	70,33±0,57 ^c	7,23±0,05 ^b	101,66±0,57 ^d	9,43±0,05 ^c	46,00±1,00 ^d	43,33±0,57 ^c	15,16±0.1 ^b	113,46±0,05 ^d	-	7,13±0,15 ^b	120,46±0,05 ^d	12,53±0,05 ^d	-	94,26±0,05 ^a
T ₅	108,66±0,58 ^d	7,33±0,05 ^b	140,33±0,57 ^c	11,16±0,57 ^d	55,33±0,57 ^c	47,33±0,57 ^d	18,46±0.05 ^c	131,56±0,05 ^e	-	7,10±0,10 ^b	138,53±0,05 ^a	13,40±0,10 ^e	-	94,86±0,05 ^d
T ₆	72,00±1.00 ^c	7,33±0,05 ^b	230,33±0,57 ^f	10,15±0,05 ^e	45,00±1,00 ^d	53,33±0,57 ^c	17,50±0.10 ^d	124,53±0,05 ^f	-	7,10±0,10 ^b	131,50±0,01 ^e	13,23±0,05 ^e	-	94,76±0,05 ^d
T ₇	98,00±1.00 ^c	7,53±0,05 ^c	143,33±0,57 ^g	7,83±0,05 ^b	70,33±0,57 ^f	47,33±0,57 ^d	13,43±0.05 ^e	138,33±0,15 ^g	-	7,13±0,15 ^b	145,36±0,20 ^f	9,36±0,15 ^f	-	95,33±0,15 ^e
T ₈	61,00±1.00 ^f	7,60±0.10 ^c	119,00±1,00 ^h	4,60±0,10 ^g	41,00±1,00 ^g	47,33±0,57 ^d	8,16±0.15 ^f	99,86±0,15 ^h	-	7,10±0,10 ^b	106,66±0,15 ^g	7,53±0,05 ^g	-	93,46±0,05 ^f
T ₉	90,00±1.00 ^a	7,43±0,05 ^{bc}	97,66±0,57 ⁱ	6,93±0,57 ^h	61,66±0,57 ^c	32,00±1,00 ^a	10,8±0.10 ^g	110,63±0,05 ⁱ	-	6,10±0,10 ^c	116,53±0,05 ^h	9,26±0,15 ^f	-	94,90±0,10 ^d
T ₁₀	66,66±0,58 ^g	7,63±0,05 ^c	133,33±0,57 ^j	5,93±0,05 ⁱ	55,00±1,00 ^c	52,33±0,57 ^c	10,23±0.20 ^h	122,90±0,10 ^j	-	6,16±0,15 ^c	128,93±0,05 ⁱ	7,86±0,05 ^h	-	95,40±0,10 ^e
T ₁₁	105,66±0,58 ^h	7,63±0,05 ^{ac}	613,33±0,57 ^a	6,76±0,05 ^{hj}	60,33±0,57 ^c	39,33±0,57 ^f	11,36±0.11 ⁱ	117,23±0,20 ^k	-	3,10±0,10 ^d	124,16±0,15 ^j	9,20±0,10 ^f	-	94,50±0,10 ^a d
T ₁₂	109,33±0,57 ^d	7,53±0,05 ^{ab} c	613,33±0,57 ^a	8,36±0,11 ^{bl}	62,33±0,57 ^c	45,33±0,57 ^g	13,56±0.05 ^e	128,83±0,11 ^l	-	7,16±0,15 ^b	135,86±0,05 ^k	10,16±0,15 ⁱ	-	94,76±0,05 ^a d

*Tr = Treatments. ¹Values in g dm⁻³. ² Values in mg dm⁻³. ³ Values in mmol dm⁻³. Values in %. (n = 3). Means followed by the same letter, in the column, do not differ statistically from each other, according to the Tukey test (p < 0.05). Organic matter (OM), Cation Exchange Capacity (CEC).

Source: Authors (2023)

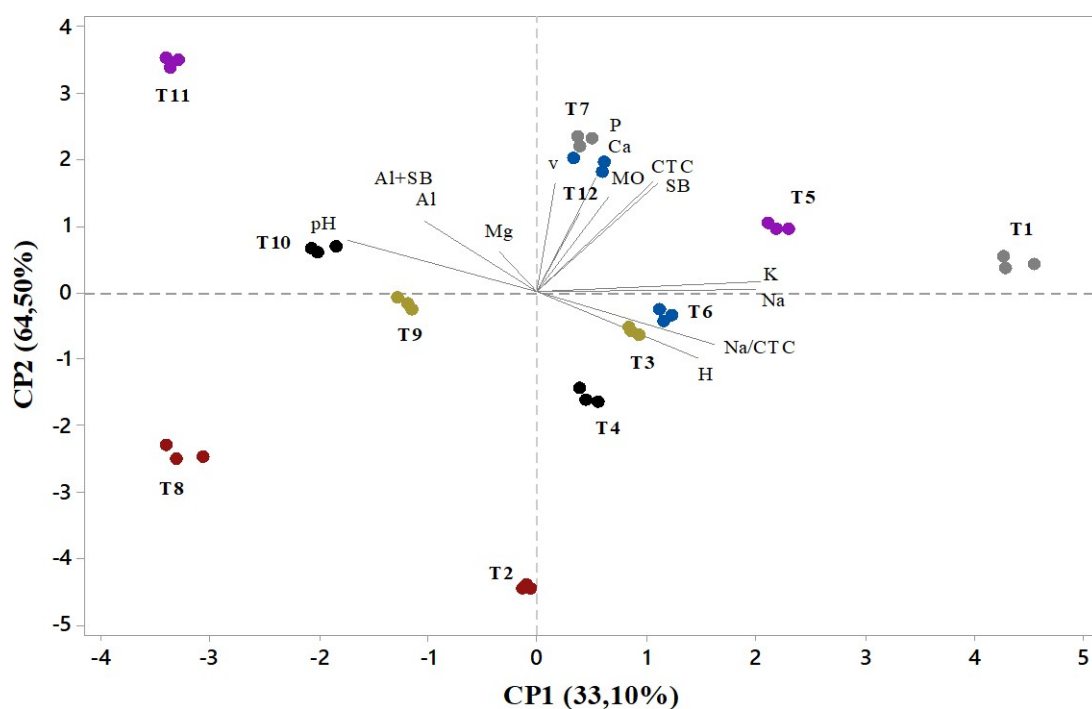


Figure 1(b): Main component analysis (PCA) for dimensions 1 and 2 showing the distribution of treatments in relation to the chemical parameters analyzed.

Source: Authors (2022)

Table 3 expresses the results obtained through the physical analysis of the compounds, described through: granulometric composition classifying the texture of each treatment, density and percentage of porosity.

Therefore, from the results obtained, it is observed that treatments T₅, T₈ and T₁₂ have mineral fractions, such as sand, silt and clay, in their compositions. Therefore, in analyzes of their granulometric composition, they were classified based on their texture as loam. As for treatments T₁, T₂, T₃, T₆, T₇, T₉, T₁₀ and T₁₁, they were classified according to their granulometric composition, presenting the highest percentage of silt, ranging from 500 to 600 g/Kg, in addition to the presence of other minerals, such as coarse sand in the range of 160 to 180 g/Kg, fine sand between 170 and 260 g/Kg, and clay between 40 and 100 g/Kg in their compositions. Therefore, the texture of these treatments is characterized based on mineral content (sand, clay and silt). According to the analysis carried out, we can classify them as silty loam. In contrast, only treatment T₄ was classified as sandy loam. In this way, we can observe that all compounds have characteristics of loam soils, this granulometric composition of the respective treatments can be explained by the variety of fibers that make up the composted material during the experimental process.

Loam soils have a variety of subdivisions, and an ideal way to define them is to consider an equitable mixture of the three particles: sand, silt and clay. However, this definition does not imply that the three fractions are present in equal amounts. This peculiarity occurs because a small relative percentage of clay is sufficient to give the soil properties associated with this fraction, compared to smaller amounts of sand and silt, which have less influence on the behavior of the soil (Carvalho, Ferreira, Ramalho, Souza & Aranha, 2020). Consequently, a loam soil in which silt particles predominate is classified as silty loam. Likewise, sandy loam, silty clay loam, sandy loam and clay loam soils may occur, depending on the relative predominance of silt, sand and clay fractions (SILVA *et al.*, 2019).

Table 3(b): Physical analysis after composting of the treatments used varying the fibrous material and catalyst.

Samples	GRANULOMETRIC COMPOSITION				SILTE/ CLAY	TEXTURE	DENSITY		POROSITY %		
	Coarse sand (2-0,2mm)	Thin sand (0,02-0,05)	Silt(0,05-0,002)	Clay (0,002)			Apparent	Real	Macro	Micro	Total
			g/Kg				g.cm ⁻³		%		
T1	160	170	570	100	5,70	Franco Silt	0,39	0,89	34	24	58
T2	180	180	600	40	15,00	Franco Silt	0,26	0,76	33	23	55
T3	160	260	500	80	6,25	Franco Silt	0,32	0,76	33	25	58
T4	260	240	440	60	7,33	Franco Sandy	0,32	0,82	26	23	49
T5	230	260	410	100	4,10	Franco	0,38	0,89	34	14	49
T6	150	210	520	120	4,33	Franco Silt	0,32	0,88	38	15	53
T7	240	180	520	60	8,67	Franco Silt	0,34	0,81	38	16	32
T8	190	230	460	120	3,83	Franco	0,24	0,89	30	10	40
T9	160	160	620	60	10,33	Franco Silt	0,31	0,79	34	24	58
T10	180	160	540	120	4,50	Franco Silt	0,29	0,82	33	23	55
T11	220	240	480	60	8,00	Franco Silt	0,32	0,89	33	25	58
T12	230	200	470	100	4,70	Franco	0,30	0,74	26	23	49

Source: Authors (2022)

Macroporosity in conventionally irrigated treatments presented an average of 33%, while microporosity was 20.66%. On the other hand, in treatments subjected to hydric saturation, there was practically no percentage difference, with an average macroporosity of 32.33% and microporosity of 20.16%. Therefore, the application of hydric saturation during the composting process with sugarcane bagasse fibers, grass and leafprunings did not have a significant impact on soil porosity results.

The percentage of total porosity obtained in conventional experimental windrows without hydric saturation was 53.66%, while those subjected to hydric saturation were 48.66%, with a difference of 5% greater for the percentage of irrigation. This demonstrates a greater occupation of spaces between the pores by H₂O, in relation to O₂, in treatments T7 to T12 and may limit the passage of air within the windrows.

According to Silveira (2022), total soil porosity is the fraction of the total volume in a given volume of soil that can be occupied by water and/or air. Knowledge of total porosity is important to understand the movement and retention of water, air and solutes in the soil, among other aspects. The porosity value above 50% allows the cation exchange capacity (CEC) in the soil to be satisfactory, since the high content of organic matter in the samples can retain them, thus resulting in a greater capacity to retain nutrients and moisture (GERUDE NETO *et al.*, 2023b).

In the present work, treatments corresponding to hydric saturation T6 to T12 obtained an average apparent density of 0.30 g.cm⁻³ and real density of 0.82 g.cm⁻³. The differences between the means obtained by the results did not influence the exposure of the compound to hydric saturation, as its difference to the conventional treatment was 0.03 g.cm⁻³ for apparent density, and 0.01 g.cm⁻³ of real density, which can be seen that this small difference in apparent density is due to the greater occupation of H₂O in relation to O₂ in the pore spaces.

The density study is related to the importance of pore spaces, which serves to identify how much pore space the soil has, and is associated with its structure, texture, that is, the degree of compaction. The apparent density is the ratio of all soil components, such as oxygen and water present in a certain fraction of the compound, and its real density is only the weight of the mineral fraction (Matos, 2020). In the aforementioned experiment, treatments from T1 to T6 obtained an average apparent density of 0.33 g.cm⁻³ and real density of 0.83 g.cm⁻³. The values obtained for density were relatively low, that is, less compaction of the compound, in relation to the total porosity being in the range of 48.66% - 53.66% relatively high, tending that water infiltration is greater, thus making more available water and nutrients for soils and plants.

4. Conclusion

The use of alternative fibers (leaf and sugarcane bagasse), independent of hydric saturation, did not affect the availability of organic matter for the soil and plants, as all

treatments were within the fertile soil index described by the Brazilian Agricultural Research Corporation. – EMBRAPA, which is 6% of MO. No acidity results were found in the compounds formed, nor were the CEC indexes of the compounds changed, even with constant humidification of the treatments. The variation in fibrous content in the windrows increased the levels of nutrient availability in the compounds formed.

The use of sugarcane bagasse as the only fibrous source in the windrows, reduced the levels of (Na; K; Mg and Ca) in the compounds, due to a lower coverage of the windrows, as the stalk particles, even crushed in the forage, they leave more spaces for the passage of air and water, facilitating the leaching of nutrients, especially in treatments exposed to hydric saturation. However, this fact did not affect the quality of the compounds formed. Thus, making sugarcane bagasse a viable fibrous alternative for the constitution of organic compounds through the composting process.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. N.; BLASQUES, R. V.; VILLIS, P. C. M.; SILVA, D. F.; GOMES, W. C. Efficiency of eletrofloculation in the treatment of water contaminated by organic waste. **Ambiente & Água**, v.15, p.1-10, 2020.

ARRUDA, M. F. A.; TREVIZAN, A. F. C. 1.3 Governança na gestão de resíduos sólidos no Brasil. **Gampe/UFRPE Recife**, 2023. 1 ed., p. 36, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil - 2022**. 2023. Disponível em: < <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022/>>. Acesso em: 17 de out. 2023.

AZEVEDO, L. C. et al. Salinidade do solo em ambiente protegido. **Revista Campo Digital**, v. 13, n. 1, 2018.

BETTIOL, W. SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; MARTIN NETO, L. ANDRADE, C. A. Matéria orgânica do solo: ciclo, compartimentos e funções. **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. p. 17, 2023.

BRAGA, R. S. **A agricultura e a pecuária na história de Roraima: Agropecuária em Roraima**. PoloBooks Boa Vista – RO. 2020. 494 p.

BRASIL. **Brazil's Nationally Determined Contribution (NDC)**. 2016. Disponível em: <[https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil First/Brazil First NDC \(Updated submission\).pdf](https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil%20First/Brazil%20First%20NDC%20(Updated%20submission).pdf)>. Acesso em: 17 de out. 2022.

BRASIL. Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. Diário Oficial da União. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/civil>. Acesso em: 17 de out. 2023.

CANTARELLA, H. et al. Ensaio de Proficiência IAC para Laboratórios de Análise de Solo para Fins Agrícolas-Relatório Anual 2016. **Instituto Agrônomo, Campinas**, 2016.

CARVALHO, A. B.; FERREIRA, H. S.; RAMALHO, W. J. C. R.; SOUZA, S. M.; ARANHA, R. M. Caracterização física, química e mineralógica de vestígios de solo de interesse forense da cidade de João Pessoa. **Engenharia no Século XXI Volume 16**, p. 47-56, 2020.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Produção de cana chega a 610,1 milhões de toneladas na safra 2022/23 com melhora na produtividade de lavouras. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4977-producao-de-cana-chega-a-610-1-milhoes-de-toneladas-na-safra-2022-23-com-melhora-na-produtividade-nas-lavouras>. Acesso em: 13 de ago. 2023.

COSTA, A. R. F. C.; ROLIM, M. M.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA M. M.; SILVA, G. F.; PEDROSA, E. M. R. Produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. **Irriga**, v. 24, n. 1, p. 38-53, 2019.

COSTA, J. J. F. et al. Atributos químicos relacionados à acidez e capacidade de troca de cátions de solos do Rio Grande do Sul com diferentes graus de intemperização. **Acta Iguazu. Cascavel. Vol. 8, p. 81-100**, 2019.

DERISIO, José Carlos. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. Oficina de textos, 5 ed. São Paulo – SP. 2016. 156p.

EMBRAPA – Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária - **Manual de métodos de análise de solo** / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. 3 ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2017. 573 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 ed. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília: Embrapa, 2018.

FERREIRA, D. G.; ALMEIDA NETO, O. B.; ASSUNÇÃO, L. S. Proposta Metodológica para o Cultivo de Cogumelos Agaricus Blazei pela Técnica Jun Cao em Diferentes Tipos de Substratos. **Caderno de Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia**, v. 2, n. 2, p. 156-166, 2020.

FERREIRA, J. M.; ROSAS, R. S.; AZEVEDO-CUTRIM, A. C. G. Resíduos sólidos e reciclagem: percepção de estudantes de uma escola pública, São Luís - MA. In: MENEZES, N. S.; EL-DEIR, S. G.; GUEDES, F. L.; ALMEIDA, I. M. S. (Org). **Resíduos Sólidos: Educação e meio ambiente**. 1 ed. Recife: EDUFRPE, 2020. p. 248 – 261.

FREITAS, F. C. et al. pH, sódio, potássio, cálcio, magnésio e alumínio em solos contaminados com fluido de perfuração de poços de petróleo após ensaios de lixiviação. **Ciência Rural**, v. 45, p. 1418-1423, 2015.

GARCIA, J. C.; MENDES, M. B. Fontes de fósforo mineral e organomineral no estado nutricional e no crescimento inicial da cana-de-açúcar. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 5, n. 2, p. 2003-2013, 2022.

GERUDE NETO, O. J. A.; MENEZES, K. D. C.; RIBEIRO, A. W. P.; CRUZ, R. F. C. GARCIA, S. S. R.; PEREIRA, D. R.; ROSA, F. C.; GOMES, E. B.; SILVA, D. F.; MIRANDA, R. C. Influence of Fibrous Material on The Composting, With the Inclusion of Different Biocatalysts. **Ciência e Natura**, v. 46, e 15, 2023.

Grupo de Apoio à Pesquisa e Extensão – GAPE. **Relação Ca/Mg no solo**. 2019. Disponível em: <https://gape-esalq.com.br/2019/12/31/relacao-ca-mg-no-solo/>. Acesso em: 20 de out. 2023.

MACIEL, L. L. L. Biomassa: uma fonte renovável para geração de energia elétrica no Brasil. **Revista de trabalhos acadêmicos-universo campos dos goytacazes**, v. 1, n. 13, 2020.

MARCHI, C. M. D. F.; GONÇALVES, I. de O. Compostagem: a importância da reutilização dos resíduos orgânicos para a sustentabilidade de uma instituição de ensino superior. **Revista Monografias Ambientais**, v. 19, p. 1ed. 2020.

MARTINEZ, H. E. P.; MAROTTA, J. J. L.; MANGAS, I. B. **Relações solo-planta: Bases para a nutrição e produção vegetal**. Editora UFV, 2021.

MATIAS, T. P.; MASTEGHIN, L. T.; IMPERADOR, A. M. A sustentabilidade Ambiental: da utopia à emergência. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 160-174, 2020.

MATOS, F. S. **Folha seca**: introdução à fisiologia vegetal. Editora Appris, 2020.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Agenda Nacional de Qualidade Ambiental Urbana**: Programa Nacional Lixão Zero. – Brasília, Brasil, 2012. ISBN: 978-85- 7738-439-6.

MORALES, R. G. F et al. Tomatorg: Sistema orgânico de Produção de Tomates em Santa Catarina. **Sistemas de Produção**, n. 53, 2019.

Muniz, J. N.; Duarte, K.; Braga, F. H. R.; Neuriane S. Lima; Silva, D. F.; Firmo, W. C. A.; Batista, M. R. V.; Silva, F. M. A. M.; Miranda, R. C. M.; Silva, M. R. C. Limnological quality: Seasonality assessment and potential for contamination of the Pindaré River watershed, pre-Amazon region, Brazil. *Water*, v. 12, p. 1-13, 2020.

OLIVEIRA, E. C. A. et al. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 579-588, 2011.

OLIVEIRA, M. W. et al. Produção e composição química da forragem de três variedades de cana-de-açúcar. **Conjecturas**, v. 22, n. 8, p. 431-448, 2022.

ORTOLI, A.; DELALIBERA, W.; SANTOS, M. S.; GEYSLER, R. S. B. Estudo de Viabilidade Para Utilização de Compostagem Para Reciclar Os Resíduos Vegetais Em Uma Instituição De Ensino. **P2P E INOVAÇÃO**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 2, p. 94–115, 2023.

RAIJ, V. B. **Fertilidade do Solo e Manejo de Nutrientes**. Editora IPNI, 1 ed. Piracicaba – SP. 2011. 420f.

RIBEIRO, R. C. H. **Exercícios de mecânica dos solos**. Oficina de Textos, 2021.

RODRIGUES, A et al. Compostagem de resíduos orgânicos: eficiência do processo e qualidade do composto. **Enciclopédia biosfera**, v. 11, n. 22, 2015.

SANTOS, E. B. S. et al. Avaliação microbiológica dos substratos de compostagem provenientes de resíduos de atividades agropecuárias. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020.

SANTOS, J. P. A. S. et al. Eficiência bioeconômica da adubação mineral na cultura do sorgo. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13. 2023.

SENA, L. M. et al. Compostagem e vermicompostagem como alternativa para tratamento e de destinação de resíduos orgânicos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 2, p. 266-272, 2019.

SILVA, M. O.; VELOSO, C. L.; NASCIMENTO, D. L.; OLIVEIRA, J.; PEREIRA, D. F.; COSTA, K. D. S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, p. 47838–47855, 2020.

SILVA, R. C. B. et al. Determinação da velocidade de infiltração e do nível do lençol freático da bacia hidrográfica do Igarapé Sapucajuba localizada em Belém/PA/Determination of infiltration speed and of the water table level in the Sapucajuba hydrographic basin located in Belém/PA. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 12, p. 32374-32395, 2019.

SILVEIRA, A. P. P. **Solos e recursos hídricos**. Editora Senac São Paulo, 2022.

SOUZA, J. A. R. et al. Tratamento de lodo de laticínios com reúso de resíduos da agroindústria por processo de compostagem. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 4, p. 1-17, 2021.

SOUZA, L. A.; CARMO, D. F.; SILVA, F. C. Uso De Microrganismos Eficazes em Compostagem de Resíduos Sólidos Orgânicos de Feira e Restaurante. **Revista Tecnológica Da Universidade Santa Úrsula**, V. 2, N. 2, P. 42-54, 2020.

TORRES, V. A.; LANGE, L. C. Rotas tecnológicas, desafios e potencial para valoração energética de resíduo sólido urbano por coprocessamento no Brasil. **Eng Sanit Ambient**, [S. l.], v. 27, n. 1, p. 25-30, jan/fev 2022.

VELHO, V. F et al. Compostagem da fração orgânica de resíduos alimentares através de dois métodos de aeração natural para a produção de um composto orgânico. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 22323-22329, 2021.

Artigo publicado na Revista Interfaces: Saúde, Humanas e Tecnologia Qualis A3.

MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS DA COMPOSTAGEM, COM FIBRA DE PALMEIRA NATIVA, E FEZES DE EQUINOS COMO BIOCATALISADOR.

**MONITORING THE PARAMETERS OF COMPOSTING, WITH NATIVE PALM FIBER AND
EQUINE FECES AS A BIOCATALYST**

RESUMO

O presente trabalho objetivou, empregar a substituição da fibra tradicional por fibra oriunda de palmeira nativa e fezes de equinos como biocatalisador no processo de compostagem. E para avaliar o processo, foi desenvolvido um protótipo de placa microcontroladora, tipo Arduino Uno R3 que monitorou os parâmetros de temperatura e umidade. O delineamento experimental foi: T₁ - Controle: 50% de material fibroso (podas de grama e folhas), 25% de restos de alimentos e 25% de fezes de equinos; T₂ – 50% de fibra (Babaçu Fibra Desfiada) 25% de restos de alimentos e 25% de fezes de equinos; T₃ – 50% de fibras (Casca de Babaçu), 25% de restos de alimentos e 25% de fezes de equinos; T₄ – 50% de fibra (Babaçu Quebrado), 25% de restos de alimentos e 25% de fezes de equinos. Após 30 dias de experimento, as amostras foram peneiradas, embaladas, identificadas e levadas ao Laboratório de Química dos Solos – LABQLS da UEMA. Enquanto os dados registrados pelo monitoramento do Arduino, foram tratados no Excel e transformados em gráficos. As análises químicas do material mostraram valores satisfatórios, principalmente de Matéria Orgânica disponível para o solo. Demonstrando que este processo pode ser utilizado para descarte e reciclagem dos resíduos testados, e que o monitoramento de parâmetros auxilia no entendimento da formação dos composto orgânicos gerados.

Palavra Chave: Fibra; Matéria orgânica; Placa Microcontroladora.

ABSTRACT

The present work aimed to employ the replacement of traditional fiber by fiber from native palm and horse feces as a biocatalyst in the composting process. And to evaluate the process, a prototype microcontroller board was developed, like Arduino Uno R3, which monitored the parameters of temperature and humidity. The experimental design was: T₁ - Control: 50% fibrous material (grass and leaf cuttings), 25% food remains and 25% horse feces; T₂ – 50% fiber (Babaçu Fiber Shredded) 25% food scraps and 25% horse feces; T₃ – 50% fiber (Babassu bark), 25% food waste and 25% horse feces; T₄ – 50% fiber (broken babassu), 25% food waste and 25% horse feces. After 30 days of experiment, the samples were sieved, packaged, identified and taken to the Laboratory of Soil Chemistry – LABQLS at UEMA. While the data recorded by Arduino monitoring, were treated in Excel and transformed into graphs. The chemical analyzes of the material showed satisfactory values, mainly of Organic Matter available for the soil. Demonstrating that this process can be used for disposal and recycling of the tested

residues, and that the monitoring of parameters helps in understanding the formation of the generated organic compounds.

Keywords: Fiber; Organic Matter; Microcontroller Board.

1. INTRODUÇÃO

A compostagem pode ser definida como o processo bioquímico natural, que transforma, através da ação dos microrganismos, os resíduos vegetais ou animais ricos em matéria orgânica, em composto orgânico utilizado na recuperação de solos, ou na nutrição das plantas (Carvalho; Guerrini, Valle, 2002). É “um processo controlado de decomposição microbiana, de oxidação e oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica”. Esse processo é decorrente da integração de uma série de parâmetros físico-químicos, por exemplo aeração, umidade, temperatura, pH, nutrientes disponíveis e de compostos orgânicos existentes, que contribuem para a aceleração da decomposição aeróbica dos resíduos orgânicos por populações microbianas, onde tais parâmetros dão condições ideais para que os microrganismos decompositores sobrevivam e se desenvolvam utilizando essa matéria como alimento. O processo é caracterizado por estabilização e maturação do composto orgânico, produzido após a reciclagem dos resíduos presentes na compostagem (VALENTE, 2009).

Dentro deste mecanismo produtor de composto orgânico, o biocatalisador e as fibras são componentes ideais para que os microrganismo tenham condições de crescer se alimentar e reproduzir, ambos, carregam o fator chave para desenvolvimento da compostagem, pois as fezes e os demais substratos utilizados como aceleradores do processo, são ricos, na maioria das vezes, em nitrogênio, enquanto as fibras auxiliam no balanceamento de carbono, necessário para a atuação dos decompositores na produção de um composto de qualidade.

As fibras regionalizadas, tem uma grande aplicação na produção de insumos locais, pois são utilizadas para produção de artesanatos e também, para a confecção de produtos de gêneros alimentícios. No estado do Maranhão, a palmeira de babaçu (*Orbignya speciosa*), possui grande potencial e importância para muitas comunidades extrativistas, tanto por razões de subsistência, quanto por questões econômicas, em função dos diversos usos que ela oferece (GOMES *et al.*; 2012). Dentre esses, destaca-se o uso da fibra (epicarpo) para aplicação em estudos (Silva, 2019; Do Monte, De Souza & Do Monte, 2023 etc.) fonte energéticas e manufaturas, já as amêndoas em esocarpo para fins cosméticos e culinários (DOS SANTOS *et al.*, 2020; DELA FLORA *et al.*, 2021).

A palmeira do babaçu é encontrada em grande parte do território maranhense, principalmente na chamada da Mata dos Cocais, um bioma de transição entre a floresta Amazônica, a Caatinga e o Cerrado, que se caracteriza por possuir um clima variando entre o equatorial úmido, até o semiárido. “O fruto da palmeira apresenta: epicarpo (camada mais externa) o que consideramos como a fibra, mesocarpo (com 0,5 a 1,0 centímetro, rico em amido), o endocarpo (rijo, de 2 a 3 centímetros espessura) e as amêndoas (de 2 a 8 por fruto)”. (BRASIL, 2012). Por ter estas características, e sua fibra ser residual em abundância na grande maioria dos beneficiadores do fruto, está pode se apresentar como uma alternativa para compor a parte fibrosa da compostagem na produção de adubos orgânicos no estado.

Outro componente importante para execução da reciclagem de resíduo orgânicos, são as fezes animais, que nas zonas urbanas, se acumulam ao longo das vias, ou em vários pontos espalhados pelas cidades. Uma das espécies de animais de produção mais utilizados em zonas urbanas, são os Equinos, que em média chegam a defecar 14kg por dia, desta forma sendo uma fonte em potencial para coleta de biocatalisador para o processo de compostagem. No Brasil, o tamanho do rebanho de Equinos é de 5.777.046 cabeças divididos em 1.170.196 estabelecimentos, sendo que o estado do Maranhão, conta atualmente com 233.599 cabeças divididos em 49.289 estabelecimentos, sendo o município de Açailândia o maior produtor, e na região metropolitana de São Luís estão registrados 1.116 cabeças destes animais. (IBGE, 2021)

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a substituição da fibra tradicional usada na compostagem, pelas fibras oriundas do beneficiamento do Babaçu com adição das biocatalisadoras fezes de equinos, para a produção de composto orgânico. Desta forma, apresentando a compostagem como alternativa de reaproveitamento e descarte correto para estes resíduos.

2. METODOLOGIA

2.1 Coleta de Amostras e Delineamento Experimental

O experimento foi realizado entre setembro e outubro de 2022, na Universidade do CEUMA – UniCEUMA, no Campus Renascença. Para o experimento foram estruturadas leiras de compostagem de 1kg de massa e com teores de fibra (folhas, grammas, e podas em geral) e material orgânico (resto de alimentos e fezes animal) de 50% cada. Os resíduos orgânicos foram coletados na Cozinha Escola do curso de Gastronomia da

Universidade CEUMA, as Fibras de Babaçu foram coletas na Empresa de Beneficiamento de Babaçu Florestas Brasileiras S.A, (Fig. 01, Apêndice III) localizada na Rodovia 222, Km 216 municípios de Itapecuru Mirim – MA, e as fezes dos animais (equinos) no Comando Geral da Polícia Militar na Avenida Jerônimo de Albuquerque, no Bairro do Calhau em São Luís - MA

O experimento foi delineado de seguinte forma: quatro leiras de compostagem, com 1kg de massa e composta por diferentes tipos diferentes de fibra, oriundas no processo de beneficiamento do babaçu (Fig. 02, Apêndice III). O tratamento 1 (T₁) sendo o controle do experimento, foi constituído de 50% de material fibroso (poda de gramas e folhas – fibra tradicional) e 50% de material orgânico (25% de restos de alimentos + 25% de fezes de equinos), o tratamento 2 (T₂) foi constituído de 50% de material fibroso (fibra desfiada do babaçu) e 50% de material orgânico (25% de restos de alimentos + 25% de fezes de equinos), o tratamento 3 (T₃) foi constituído por 50% de material fibroso (casca de babaçu) e 50% de material orgânico (25% de restos de alimentos + 25% de fezes de equinos), já o tratamento 4 (T₄) foi constituído por 50% de material fibroso (babaçu triturado) e 50% de material orgânico (25% de restos de + 25% de fezes de equinos) (Tabela 01).

Tabela 1(c) – Quantitativo de material constituinte das leiras experimentais.

Tratamento	Material Fibroso (50%)	Material Orgânico (25%)	Biocatalisador (25%)
T₁ – Controle	500g de podas de gramas e folhas	250g de restos de alimentos	250g de fezes de equinos
T₂ - Babaçu Fibra Desfiada	500g de Babaçu Fibra Desfiada	250g de restos de alimentos	250g de fezes de equinos
T₃ - Casca de Babaçu	500g de Casca do babaçu	250g de restos de alimentos	250g de fezes de equinos
T₄ - Babaçu Quebrado	500g de Babaçu quebrado	250g de restos de alimentos	250g de fezes de equinos

Fonte: Autores (2022)

Após a montagem das leiras, e com 30 dias de início do experimento, foi acoplado um protótipo de monitoramento dos parâmetros de temperatura e umidade,

controlado por Arduino, e desenvolvido pelos autores do trabalho (Fig. 03, Apêndice III). A intenção do monitoramento dos parâmetros, é acompanhar a evolução da passagem de temperatura ao longo do processo, e adicionar somente o necessário de água nas leiras, para evitar o desperdício, e correlacionar esses dados com duração da produção do composto orgânico, e sua qualidade final.

Após o encerramento do experimento, as amostras de composto orgânico resultantes da compostagem foram coletadas, peneiradas e acondicionadas em sacos plástico, identificadas e encaminhadas ao Laboratório de Solos da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, para a realização das análises físicas e químicas dos compostos. Os dados coletados pelo monitoramento via Arduino, foram recolhidos diariamente direto do cartão SD acoplado ao protótipo, sendo agrupados pela média diária, e posteriormente tratados no software Excel para confecção dos gráficos e tabelas referentes as curvas de temperatura e umidade (Fig. 04, Apêndice III).

2.2 Análises Laboratoriais

Para as análises químicas e físicas das amostras, todas foram previamente peneiradas em uma peneira de 22 mm, segundo a metodologia empregada no Manual de Análises Químicas (Embrapa, 2017) para avaliação da fertilidade de solos tropicais.

As quantidades de amostras selecionadas variaram de acordo com o parâmetro a ser avaliado. Após a separação das porções necessárias, uma solução extratora foi adicionada para que fosse possível extrair os minerais e aguardou-se 24 horas para iniciar os procedimentos.

2.2.1 Análises Químicas

- **pH**

O procedimento inicial consistiu em colocar 10ml da amostra em um recipiente de 100mL identificado, depois adicionado 25ml de Solução de CaCl_2 0,01 molar - diluindo 10ml do padrão para cada litro de solução, e agitando a amostra com bastão de vidro individual e deixado em repouso por 30 minutos. Antes das mensurações, o medidor de pH foi calibrado com as soluções-tampão para pH 4,0 e 7,0. Após o repouso mergulhou-se os eletrodos na suspensão homogeneizada e assim procedeu a leitura do pH, a cada leitura foi realizada a lavagem do eletrodo entre uma e outra determinação com água destilada por meio de uma pisseta e enxugado (EMBRAPA, 2017).

- **Matéria Orgânica**

Para análise de Matéria Orgânica foi adicionado 10 ml de Solução sulfocrômica (ácido sulfúrico com dicromato de sódio) e 1ml da amostra. Deixou-se em descanso por 24 horas e foi levado para fazer a leitura em um Espectrofotômetro UV (EMBRAPA, 2017).

- **Fósforo**

Para determinação de P, foi realizado o ataque de 2ml da amostra e 25ml da Solução Extratora de Mehlich e deixou-se em repouso por 24 horas. Foi retirado 5ml da amostra atacada e adicionado 10ml da solução tampão de Molibdato de Amônio e agitado conforme a Figura 4. Depois de agitadas, as amostras repousaram por 60 minutos e depois foi realizada a leitura no Espectrofotômetro UV (EMBRAPA, 2017).

- **Potássio**

Para a determinação de K, foi realizado o ataque de 2ml da amostra e 25ml da Solução Extratora de Mehlich e deixou-se em repouso por 24 horas. Foi retirado 10ml da solução atacada e adicionados em tubos de ensaio e foi realizado a leitura no Fotômetro de Chamas (EMBRAPA, 2017).

- **Cálcio e Magnésio**

O ataque realizado para análise de Ca e Mg, consistiu em adicionar 50ml de solução de Cloreto de Potássio (KCl) em um recipiente com 5ml de amostra e agitado manualmente, assim, deixando em repouso por 24 horas. Após o repouso é retirado 10 ml da solução atacada e encontrado resultados de cálcio e magnésio com adição de 2 mL da “solução tampão para Ca e Mg” e acrescentado 2 gotas do indicador negro de eriocromo T ($C_{20}H_{12}NaO_7S$) junto com a solução titulante EDTA.

Em uma amostra controle separadamente é adicionado 10 ml de água destilada + 2 mL da solução tampão para Ca e Mg + 2 gotas do indicador negro de eriocromo T, após a mistura é agitado manualmente atingindo uma coloração roxa. Com a titulação das amostras feito com água destilada, ocorre a variação da cor rosa para roxa e é anotado a quantidade de H₂O destilada que está inserido na amostra através das medidas da bureta.

Na análise do magnésio, é utilizado os valores de Ca +Mg, para então subtrair com os valores obtidos do Ca separadamente, com isso anulamos o cálcio e teremos os valores do magnésio (EMBRAPA, 2017).

2.2.2. Análises Físicas

Para as análises físicas foi adotado o método da pipetado manual de método de análise de solos EMBRAPA, 2017. Iniciou-se o processo pesando 20g de solo em copo plástico de 250ml. Foi adicionado 100ml de água e 10ml de solução normal de hidróxido de sódio, ou 10ml de hexametáfosfato de sódio, tamponado com carbonato de sódio. Agitou-se com bastão de vidro e deixar em repouso durante uma noite (EMBRAPA, 2017).

Após o repouso foi transferido o conteúdo para copo metálico do agitador elétrico “stirrer” com o auxílio de um jato de água, deixando o volume em torno de 300ml. Colocou-se o copo no agitador para proceder à agitação durante 15 minutos para solos argilosos e de textura média e 5 minutos para os arenosos (EMBRAPA, 2017).

Depois de realizada a agitação das amostras, o conteúdo foi passado através de peneira de 20cm de diâmetro e malha de 0,053 (nº 270), colocada sobre um funil apoiado em um suporte, tendo logo abaixo uma proveta de 1.000ml, e depois lavar o material retido na peneira com água proveniente de depósito colocado a mais ou menos 3 metros de altura, de modo a se obter uma pressão uniforme na mangueira e uma lavagem eficiente e rápida das areias (EMBRAPA, 2017).

Após a lavagem do material em suspensão foi realizada a agitação do material que ficou na proveta durante 20 segundos com um bastão, tendo este, na sua extremidade inferior, uma tampa de borracha contendo vários furos e de diâmetro um pouco menor do que o do cilindro ou proveta. Marcar o tempo após concluir a agitação. Preparar a prova em branco, colocando o dispersante utilizado em proveta de 1.000ml contendo água. Completar o volume, agitar durante 20 segundos e marcar o tempo. Medir a temperatura da prova em branco e da amostra e verificar o tempo de sedimentação da fração argila para 5cm de profundidade (EMBRAPA, 2017)

Calculado o tempo, introduzir uma pipeta de 50ml, colocada em pipetador automático de borracha, até a profundidade de 5cm, e coletar a suspensão e transferir para cápsula de porcelana, juntamente com a porção proveniente da lavagem da pipeta. Repetir esta operação para a prova em branco. Foi colocado a cápsula na estufa e deixar

durante uma noite ou até evaporar completamente a suspensão (EMBRAPA, 2017).

Retirar, colocar em dessecador, deixar esfriar e pesar com aproximação de 0,0001g, concluindo, assim, a determinação da argila e do resíduo da prova em branco. Completar a lavagem da areia retida na peneira de 0,053mm com jato forte de água de torneira. Transferir a fração areia para lata de alumínio numerada e de peso conhecido, eliminar o excesso de água e colocar na estufa. Após secagem (3 a 5 horas), deixar esfriar e pesar, com aproximação de 0,05g, obtendo-se assim o peso da areia grossa mais areia fina. Transferindo essa fração para peneira de 20cm de diâmetro e malha 0,2mm (n° 70), colocada sobre recipiente metálico de mesmo diâmetro, e proceder à separação da areia grossa (EMBRAPA, 2017).

2.3 Monitoramento de Temperatura e Umidade

O Monitoramento de Temperatura e Umidade foi realizado por meio de uma placa microcontroladora, tipo Arduino Uno R3, por se tratar de uma ferramenta livre, de fácil manipulação e baixo custo (SOUZA *et al.*, 2011). Esta plataforma é o centro de operações do Monitoramento de Temperatura e Umidade, ela é o responsável pela leitura dos sensores de temperatura e umidade, pela a gravação dos dados no cartão de memória e pelo display LCD.

2.3.1 Programação da Placa Microcontroladora (Arduino)

No Quadro 02 (Apêndice III) são apresentados os componentes utilizados na construção do dispositivo de Monitoramento de Temperatura e Umidade.

O circuito é composto por seis sensores, sendo três sensores de temperatura DS18B20 e três sensores de Umidade do solo. Os sensores foram estendidos com cabos de um metro para a melhor manipulação dos mesmos dentro das leiras.

A programação do dispositivo de monitoramento, foi feita utilizando a linguagem Wiring, no Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE), oferecido pelos desenvolvedores do Arduino, utilizando-se o software Arduino 1.10. Os programas foram escritos em C/C++, permitindo dessa forma controlar aparelhos conectados ao Arduino. Além disso, a programação do dispositivo foi desenvolvida para atender as necessidades exigidas pela atividade biológica, ou seja, manter as condições ideais para que os microrganismos degradassem a matéria orgânica de forma eficiente. A definição dessas condições foi baseada nas recomendações dadas por Pereira Neto (2007). Segundo o autor, a temperatura ideal para a atividade microbiológica se desenvolver é na faixa de 35°C a 60°C e a umidade deve estar entre 40% a 60%.

O monitoramento foi programado para leituras com intervalos de 10 (dez) minutos. Os dados eram coletados diariamente. O custo do dispositivo está descrito no Quadro 01 (Apêndice III)

2.4 Calibragem

Para calibrar os sensores, por meio dos algoritmos, foi usado um método de comparação com equipamentos calibrados e procedimentos normativos, onde para o sensor de umidade do solo foi usado o método da frigideira, de acordo com a NBR 16097:2012 (Determinação do teor de umidade) e o sensor de temperatura foi utilizado um termômetro de marca Instrutherm digital tipo K com Datalogger TH1600.

2.5 Montagem do Dispositivo de Monitoramento

Após a calibração, foi colocado o dispositivo de monitoramento nas leiras, como mostra a Figura 05 (Apêndice III), e as respectivas de sondas de temperatura e umidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Parâmetros Químicos (Tabela 02)

Tabela 2(c) – Resultados Analíticos dos Compostos.

Tratamentos	pH (CaCl ₂)	MO (g/dm ³)	P (mg/dm ³)	K (mg/dm ³)	Ca (mmol/dm ³)	Mg (mmol/dm ³)	Na (mmol/dm ³)	CTC (mmol/dm ³)	V %
T ₁	6,66±0,05a	147,33±0,57a	613,33±0,58a	8,83±0,05a	96,33±0,57a	38,33±0,57a	14,1±0,27a	174,2±0,38a	90,1
T ₂	6,40±0,00b	95,66±0,56b	78,33±0,57b	5,13±0,05b	32,31±0,58b	57,36±0,58b	8,1±0,07b	127,4±0,37b	80,2
T ₃	6,40±0,00b	101,33±0,58c	613,31±0,57a	4,73±0,05c	21,34±0,59c	52,34±0,59c	7,0±0,17c	128,3±0,37b	66,0
T ₄	6,26±0,05c	118,33±0,57d	613,34±0,59a	5,23±0,05b	46,31±0,58d	11,32±0,59d	7,9±0,05b	84,3±0,39c	84,4

Fonte: Autores (2022)

Os Valores de pH tiveram uma média de 6,45, não apresentando diferença estatística, e demonstrando uma boa capacidade de disponibilidade de nutrientes para as plantas nos compostos orgânicos formados em todos os tratamentos. Segundo Fialho *et al.* (2005) o intervalo de pH considerado ótimo para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela compostagem está entre 5,5 e 8,5, resultado alcançado por todos os tratamentos, independentemente do tipo de fibra utilizada. Estes resultados corroboram com os obtidos por Amaral *et al* (2023) e Brun *et al* (2022), que ao testarem dejetos de animais para catalisar a compostagem de resíduos fibrosos, obtiveram amostras de pH variando entre 6,0 e 6,8; com as concentrações de 50% de fibra e 50% de MO. Demonstrando que as fezes de animais como biocatalisadores, não alteram a acidez dos compostos formados no final do processo.

Segundo Donagema (2011), solos considerados ideais para uma boa produção agrícola estão entre 6 a 6,5% de MO disponíveis para as plantas. As análises químicas

dos compostos resultaram em valores de: 14,7% (T₁); 9,5% (T₂); 10,1% (T₃); e 11,8% (T₄) para MO, valores bem acima dos descritos pela literatura para um solo fértil, sendo que todas as amostras apresentaram diferença estatística entre os tratamentos, para os níveis destes parâmetros. Os tratamentos T₃ e T₄ podem ter uma maior concentração de MO em relação ao T₂, pois estes durante o processamento do fruto são mais triturados, e nem sempre totalmente separados do mesocarpo e endocarpo do fruto, assim podendo conter outras partes do babaçu em sua composição, o que pode contribuir para um aumento na sua composição de carbono e consequentemente na disponibilidade de matéria orgânica no composto final.

Os teores de Fósforo (P) analisados, tiveram valores altos, acima dos descritos na literatura como índices ideais para as plantas. Apenas tendo menor concentração no tratamento T₂, o que pode ser explicado, novamente devido à ausência na sua composição principalmente de partes do mesocarpo do fruto, que possui contração de P em sua composição. Segundo Carrazza *et al.*, (2012) a parte central do fruto é composto por uma rica massa de amido usada tanto na alimentação animal, quanto humana, comporta por sais minerais como: cálcio; ferro; sódio; fósforo; magnésio; manganês entre outros. É também importante ressaltar que altos índices de P auxiliam as plantas em um bom crescimento vegetativo, e quanto a sua fertilidade. Os resultados deste trabalho, corroboram com os de Magalhães *et al.*, (2020), que testaram fibra de coco verde como fonte alternativa para produção de adubos orgânicos, obtendo índices médios de 428 mg/dm³, caracterizando que esse tipo de fonte fibrosa, tem uma tendência a disponibilizar altos índices desse elemento.

Segundo Cantarella (2016), existem categorias diferentes para classificar o P no solo. Para o fósforo são estabelecidas classes de culturas denominadas de: florestais; perenes; anuais e hortaliças, sendo os índices de disponibilidade para o solo e para as plantas determinados da seguinte maneira: 0 à 10mmol/dm³ muito baixo; 3 à 25mmol/dm³ baixo; 26 à 60mmol/dm³ médio; 61 à 120mmol/dm³ alto e acima 120mmol/dm³ muito alto. O que evidencia que os resultados de fosforo tiveram resultados que se enquadram como muito alto. Segundo Cantarella (2016), existem categorias diferentes para classificar o P no solo. Para o fósforo são estabelecidas classes de culturas denominadas de: florestais; perenes; anuais e hortaliças, sendo os índices de disponibilidade para o solo e para as plantas determinados da seguinte maneira: 0 à 10mmol/dm³ muito baixo; 3 à 25mmol/dm³ baixo; 26 à 60mmol/dm³ médio; 61 à 120mmol/dm³ alto e acima

120mmol/dm³ muito alto. O que evidencia que os resultados de fosforo tiveram resultados que se enquadram como muito alto.

Os teores de K e Na ajudam a regular o equilíbrio hídrico nas plantas e na absorção, translocação de açúcares e ácidos orgânicos. As análises de K e Na tiveram respectivamente valores médio de 5,0 mmol/dm³ e 9,25 mmolc/dm³. Seguindo a linha de raciocínio e a categoria de classificação de disponibilidade para o solo e para as plantas usada por Cantarella (2016), os valores de Na acima 1% são considerados altos, e os valores de K são: 0,0 a 0,7mmol/dm³ muito baixo; 0,8 a 1,5mmol/dm³ baixo; 1,6 a 3,0mmol/dm³ médio; 3,1 à 6,0mmol/dm³ alto e acima de 6,0 mmol/dm³ muito alto. Contudo, a média dos resultados se enquadram como alto, nos compostos formados nos tratamentos, independente da fibra utilizada. Mas por serem nutrientes antagonistas, suas altas concentrações nos substratos podem impedir que as plantas e os solos, absorvam estes em grande quantidade.

Malavolta (2008) explica a interação Ca e Mg no solo, o cálcio é importante para manutenção do ajustamento estrutural e funcional das membranas e paredes celulares vegetais. Sendo o magnésio (Mg) essencial para o processo de fotossíntese e outros processos fisiológicos e de nutrição das plantas. Em alguns casos correlacionando o Ca e Mg acontece a chamada inibição competitiva que é, quando a presença em excesso de um nutriente diminui a absorção do outro. No adubo orgânico obtido, as médias de Cálcio foi de 49 mmolc/dm³ e Magnésio 39 mmolc/dm³, onde todos os tratamentos para ambos os parâmetros apresentaram diferença estatística nas amostras. É importante relembra que a concentração de cálcio no babaçu é em média de 0,07 a 0,70% (CAVALCANTE *et al.*, 2005), que o biocatalisador utilizado foram de animais da montaria da Polícia Militar do Maranhão, ou seja, animais que tem uma carga alta de atividades físicas, e por isso tem alta taxa de transpiração, e segundo Folador *et al.*, (2014) equinos submetidos a exercícios físicos constantes tem uma alta taxa de perda de nutrientes pela transpiração como o Ca; o que pode justificar a menor quantidade deste na excreta, e por consequência no compostos formados.

A Capacidade de troca de Cátions representa a quantidade total de cátions que podem ser adsorvidos no solo. Ela é influenciada pelo pH, e pela soma dos cátions que compõem o solo, e pela quantidade de matéria orgânica disponível (DONAGEMA, 2011). Como demonstrado no quadro 04, os índices acima citados, estão todos dentro dos padrões de qualidade determinados pela literatura, onde apresentaram um CTC média de

128,55 mmolc/dm³ (classificada como alta, segundo EMBRAPA, 2017) proporcionando aos compostos formados uma boa capacidade de distribuição de nutrientes para o solo e para as plantas. Isto pode ser evidenciado quando observamos os valores de V (percentagem de saturação por base) que são consideradas boas com índices de 50%, e em todos os tratamentos as percentagens foram superiores aos 66% de saturação.

3.2 Parâmetros Físicos (Tabela 03)

Tabela 03(c) - Análise Física do Composto.

Tratamentos	Composição Granulométrica %					Textura
	Areia Grossa (2-0,2mm)	Areia Fina (0,002)	Silte (<0,005-0,002)	Argila (<0,002)	Silte/Argila	
T ₁	29	41	20	10	2,00	Franco Arenoso
T ₂	29	29	36	8	4,50	Franco Arenoso
T ₃	22	22	53	8	6,63	Franco Siltoso
T ₄	28	28	42	6	7,00	Franco Arenoso

Fonte: Autores (2022)

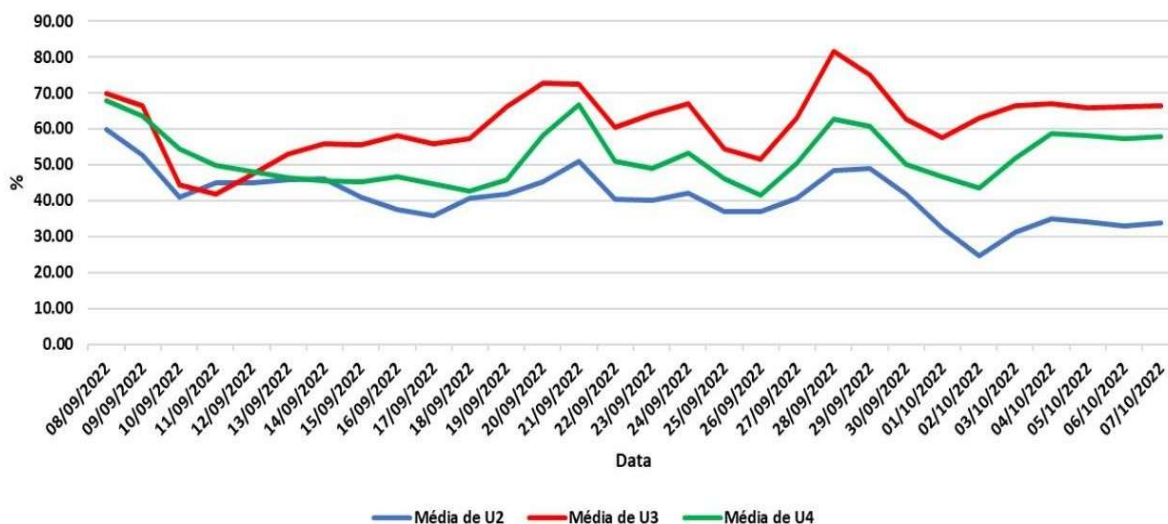
Todos os tratamentos apresentam baixos teores de argila. O tratamento₁ indicou o maior percentual, 10%. Normalmente os solos argilosos apresentam baixo teor de matéria orgânica, estes solos possuem muitas particularidades que o diferenciam dos outros, os resultados de baixo teor de argila nos compostos são positivos. T₁, T₂ e T₄ apresentaram a textura de solo que se enquadra em Franco arenoso, são solos considerados moderadamente grosseiros, O resultado condizem com os tipos da fibra dos tratamentos T₁ – Controle podas de grama, T₂ - Babaçu Fibra Desfiada e T₄ - Babaçu Quebrado. O T₃ foi caracterizado como Franco siltoso ou também chamados de limosos, normalmente formam torrões quando secos e são facilmente esmagados, transformando-se em pó tipo farinha, podendo ser explicado pela conformação fibrosa do tratamento com cascas de Babaçu.

Para teores de areia grossa, todos os tratamentos apresentaram baixos resultados, sendo uma correlação positiva, por se tratarem de compostos orgânicos e não ter nenhuma relação com solos arenosos. Os resultados para areia fina mantiveram uma média boa, exceto o tratamento T₁, que teve um contato maior com o solo por se tratar da sua composição fibrosa ser de podas de grama. E mais uma vez o tratamento T₃ se diferencia

com um resultado mais elevado dos demais em relação a silte, justamente por conta de ser a casca do babaçu como fonte de fibra.

3.3 Análise da Umidade (Figura 01)

Gráfico 01 - Variação da umidade nas leiras durante o período monitorado.



Fonte: Autores (2022)

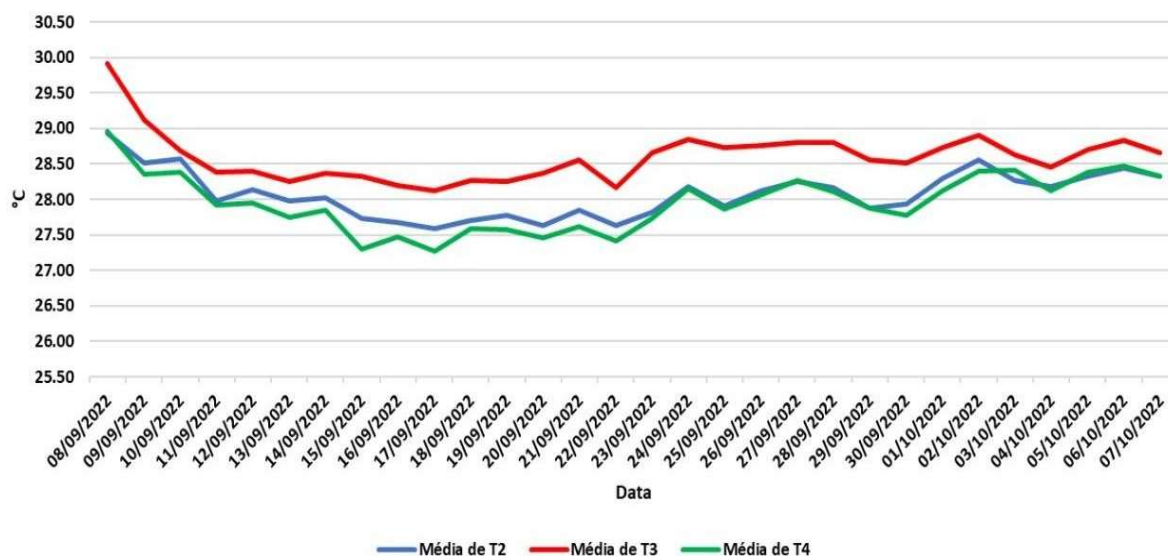
Diferente do comportamento de temperatura em todas as fases da compostagem, a umidade é o parâmetro que pode ser controlado com maior facilidade, a presença de água é o fator principal para determinar a umidade da compostagem e para as necessidades fisiológicas dos organismos presentes no processo. A Literatura diz que as leiras formadas com a matéria orgânica a ser compostada deve ter a média de umidade em torno de 50% desejável para que o processo seja ideal. Entretanto esse processo pode registrar valores entre 40% e 60% mínimo e máximo.

Utilizando a placa microcontroladora, tipo Arduino Uno R3 e o Algoritmo desenvolvido para dar os comandos, foi possível acompanhar e controlar a umidade todos os dias por um período de 30 dias. O gráfico expressa que teve uma variação de 80% a 30%, os valores de 80% foram atingidos quando chegava determinado período do dia no qual era coletado os dados e feito a irrigação do composto para que atingissem os valores de umidade alto, no decorrer das 24h à umidade baixava chegando até em 30% momento que o ciclo de irrigação do composto se repetia.

Mesmo com varrições diárias em torno de 20 a 30% de umidade nas leiras, os compostos se mantiveram estáveis, produzindo nos quatro tratamentos composto orgânicos de qualidade.

3.3 Análise da Temperatura

Gráfico 02 - Variação da temperatura nas leiras durante o período monitorado.



Fonte: Autores (2022)

Segundo Andreoli (2001) a compostagem aeróbia pode ocorrer em situações tanto de temperatura termofílica (45°C a 85°C) como mesofílica (25°C a 43 °C). Fase termofílica é a fase de oxidação na qual as bactérias e fungos degradam a matéria orgânica e o composto atingem altas temperaturas por causa desse processo dos microrganismos, nesta fase os agentes patogênicos são eliminados devido à alta temperatura.

A fase mesófila vem depois da fase termofílica, é chamada a fase de maturação, quando a decomposição microbiológica se completa, ocorre a diminuição da atividade microbiana e da acidez. É um período de estabilização que produz o composto maturado, e a matéria orgânica é transformada em húmus, livre de toxicidade, metais pesados e patógenos.

De acordo com o gráfico elaborado através dos resultados obtidos utilizando a placa microcontroladora, tipo Arduino Uno R3 e o Algoritmo desenvolvido que coletava os dados da sonda de temperatura introduzidas nos tratamentos, é possível observar que a temperatura oscila entre 27,5 °C e 30 °C, isto pois o dispositivo de monitoramento foi introduzido no experimento e começou a fazer as leituras de temperatura somente na fase mesófila onde o composto já se encontrava no estado de maturação. Mostrando que

mesmo com variações de umidade, e de constituições fibrosas, os microrganismos mantiveram-se ativos produzindo as substâncias húmicas e maturando o composto orgânico.

4. CONCLUSÃO

O processo de substituição da fibra tradicional (folha, grama e restos de poda) pelas fibras de palmeira nativa (Babaçu) e adição de fezes de equinos como biocatalisador, caracterizou-se como uma alternativa viável para descarte destes produtos, e uma fonte alternativa para produção de compostos orgânicos de qualidade, devido ao baixo custo na produção, e curto período de tempo do beneficiamento do material.

Em relação a disponibilidade de nutrientes para o solo e para as plantas, o tratamento mais indicado é o T₂, pois foi o mais equilibrado entre a distribuição dos índices que a litura determina para os parâmetros avaliados. Mas isso não inviabiliza a utilização dos demais tratamentos, pois tiveram índices satisfatórios, principalmente em relação ao pH, MO e CTC.

Vela destacar, que a introdução do sistema de monitoramento de parâmetros no terço final do experimento, contribuiu para o melhor entendimento das variações sofridas no processo de transformação dos materiais, e como a temperatura e a umidade auxiliam no processo de maturação dos compostos formados, pois o controle desses parâmetros evita o desperdício de água, e ajudam a proporcionar condições favoráveis para os microrganismos presentes nas leiras de compostagem.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, J. E et al. Aplicação da Compostagem como Tratamento para Resíduos Alimentares, Dejetos Bovino e Poda de Grama. In: Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade - CONRESOL, 6., 2023, Dois Vizinhos. **Anais...** Foz do Iguaçu, IBEAS, 2023.
- ANDREOLI, C. V. 2001. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: ABES.
- BRUN, J. E et al. Aceleração da Compostagem em Resíduos de Poda Urbana com Adição de Dejetos de Animais. In: Congresso Técnico-Científico de Engenharia e da Agronomia – CONTECC, 2022, Dois Vizinhos. **Anais...** Dois Vizinhos, UTFP, 2022.
- CANTARELLA, H. et al. Ensaio de Proficiência IAC para Laboratórios de Análise de Solo para Fins Agrícolas-Relatório Anual 2016. Instituto Agrônomo, Campinas, 2016.

CARRAZZA, L. R et al. Manual tecnológico de aproveitamento integral do fruto e da folha do Babaçu. 2012.

Cartilha Boas Práticas: Babaçu / Patrícia Cota Gomes, Helga Yamaki, Márcio Souza, Pedro Pereira de Castro, Agnaldo do Livramento e Natalia Guerrero – Piracicaba, SP: Imaflora, ISA e ACF, 2012.

CARVALHO, A. G. M. et al. A compostagem como processo catalisador para a reutilização dos resíduos de fábrica de celulose e papel. *O Papel (Brasil)*, p. 71-75, 2003.

CAVALCANTE, R. R. et al. Digestibilidade aparente de nutrientes de rações balanceadas com alimentos alternativos para cutias (*Dasyprocta prymnolopha*) em crescimento. **Revista Ciência Animal Brasileira**, v. 6, n. 3, p. 163-171, jul./set. 2005.

DELLA FLORA, M. A. L. et al. Efeitos da inclusão de diferentes níveis do farelo de babaçu na dieta de suínos. **Veterinária e Zootecnia**, v. 28, p. 1-8, 2021.

DO MONTE, J. R. R.; DE SOUZA CARDOSO, F.; DO MONTE, L. T. A. Aproveitamento do epicarpo de babaçu extraídos em Caxias-MA para a produção de briquetes. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 8, n. 3, p. 217-244, 2023.

DONAGEMA, G. K. et al. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E)**, 2011.

DOS SANTOS, P. A. C. et al. Análise econômica da inclusão de farinha amilácea de babaçu na dieta de cordeiros confinados. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1421-1426, 2020.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - **Manual de métodos de análise de solo** / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.

FIALHO, L. L. et al. Monitoramento Químico e Físico do Processo de Compostagem de Diferentes Resíduos Orgânicos. Embrapa Instrumentação Agropecuária. Circular Técnica, 2005.

FOLADOR, J. C. et al. Concentrações séricas de sódio, potássio e cálcio em equinos da raça Mangalarga Marchador após exercício físico. **Archives of Veterinary Science**, v. 19, n. 2, 2014.

FRITIZING. Software Fritzing BETA. Versão 0.9.10. 2022. Disponível em: <<http://fritzing.org/download/>> Acesso em: 06 out. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo do rebanho de equinos no Brasil. Site IBGE. 2021.

KIEHL, E. J. Compostagem. 1988, **Anais**. Piracicaba: Livrocere, 1988. Acesso em: 27 set. 2022.

MAGALHÃES, W. M. A. et al. Uso de Casca de Mandioca e Fibra de Coco como Fontes Alternativas no Processo de Compostagem. In: Anais do I Congresso Virtual de Estudantes e Profissionais de Engenharia Ambiental e Sanitária. **Anais...Goiânia(GO)**.

MALAVOLTA, E. O futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agronômicos, econômicos e ambientais. SP: Ipní, 2008.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Babaçu: Attalea spp. MART. / Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. – Brasília: MAPA/ACS, 2012. 24p. (Série: Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável orgânico).

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem**: processo de baixo custo. Viçosa – MG: UFV, 2007.

SILVA, J. S. et al. Subprodutos do babaçu (*Orbignya* sp) como novos materiais adsorptivos: uma revisão. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 24, 2019.

SOUZA, A.R.; PAIXÃO, A.C.; UZÊDA, D.D.; DIAS, M.A.; DUARTE, S.; AMORIM, H.S. **A Placa Arduino: Uma Opção de Baixo Custo para Experiências de Física Assistidas pelo PC**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 1, 1702-1-1702-5, 2011.

VALENTE, B. S. et al. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. *Archivos de zootecnia*, v. 58, n. 224, p. 59-85, 2009.

Os experimentos desenvolvidos na presente Tese, discutem a realização da compostagem com a utilização de diferentes fontes fibrosas e a influência de diversos parâmetros físicos e químicos no processo. Embora todos os experimentos tenham como pilar principal a realização da compostagem, estes são efetivados com metodologias distintas, mas que acabam apresentando resultados tanto semelhantes, quanto diferentes no comportamento dos compostos orgânicos formados, dependendo diretamente dos materiais utilizados e das condições ambientais de realização dos experimentos. Assim, apresentando concentrações variadas de pH; Matéria Orgânica (MO), nutrientes essenciais (como P; K; Ca; Mg e Na); capacidade de troca catiônica (CTC), e nas variações de umidade e temperatura.

Ficou evidenciado em todos os estudos realizados, que o percentual de matéria orgânica (MO), independente da fonte fibrosa, e dos biocatalisadores utilizados se mativerm acima do índice mínimo aceitável para solos férteis, que é 6% de disponibilidade, característica esta, que é essencial para retenção de água e nutrientes. Estes resultados estão em consonância com os experimentos realizados por Weil et al., (2016), que observaram que mesmo com a variação fibrosa no processo de compostagem, os índices de MO, se mativeram aceitáveis para solos férteis. Os resultados encontrados nos experimentos, também corroboraram com o de Albuquerque et al., (2021), que não observaram impactos negativos da saturação hídrica, ou na disponibilidade de MO, mesmo com a mudança das fontes fibrosas na compostagem. Desta forma, os estudos desenvolvidos confirmam que o material fibroso sendo disponibilizado de forma adequado (principalmente na sua granulometria), contribui para a qualidade do composto formado, para a manutenção de nutrientes e fertilidade do solo.

Com relação a disponibilidade de nutrientes, em todos os experimentos desenvolvidos, com fontes fibrosas como: cana-de-açúcar, podas de gramíneas, fibras de babaçu e suas variações, resultaram em compostos ricos em elementos essenciais, como fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e Magnésio (Mg). Estes resultados estão de acordo com os de Costa et al., (2018) onde observaram que maiores diversidades de fontes fibrosas aumenta a concentração de nutrientes nos compostos. Mas é importante ressaltar que a disponibilidade efetiva de nutrientes para o solo e para as plantas depende também da saturação hídrica e da CTC do solo. Na presente Tese, o experimento com tratamentos submetidos a saturações hídricas e compostos por fontes fibrosas que proporcionaram maiores espaços para a passagem de água, apresentaram uma taxa maior de lixiviação diminuindo principalmente a disponibilidade de Na e K nos compostos formados. Mas

estas perdas, foram compensadas com altas taxas de CTC nos experimentos que tiveram média de 122,9 mmol/dm³, considerada alta de acordo com Teixeira, Donagemma e Fontana (2018), assim indicando uma boa capacidade de fornecimento de nutrientes pelos compostos formados, independente da fonte de fibra, ou do biocatalizador utilizado.

Outra característica comum na formação dos compostos orgânicos nos experimentos desenvolvidos, foi a variação dos biocatalisadores das leiras de compostagem. Esta característica trouxe variações da composição dos grupos de microrganismos presente no processo de decomposição do material orgânico nas diferentes fases da compostagem. Mesmo com a variedade de biocatalisadores, os compostos formados mantiveram-se estáveis pois o pH variou entre 6,2 a 7,5 estando dentro das faixas aceitáveis pela literatura. Estes resultados estão de acordo com Souza et al., (2020) que observaram uma manutenção de estabilidade no pH da compostagem, mesmo com a variação dos biocatalisadores utilizados. E também corroboram com resultados descritos por Carneiro et al., (2024) que utilizando fontes alternativas de fibras e de biocatalisadores, assim demonstrando uma estabilidade nos compostos formados e na disponibilidade de nutrientes para os solos e para as plantas. Desta forma, a presente Tese em seus experimentos confirma que utilização de diferentes tipos de biocatalisadores e independente da fonte fibrosa, não afeta de forma negativa o equilíbrio ácido-básico necessário para o desenvolvimento dos microrganismos formadores de ácidos húmicos, e consequentemente a disponibilidade de nutrientes nos compostos orgânicos.

Isto posto, a presente pesquisa demonstrou que para uma maior eficácia no processo de compostagem, é necessária uma introdução de sistemas de monitoramento de parâmetros ambientais, como temperatura e umidade. Esta metodologia permitiu um melhor entendimento das variações no processo de transformações dos materiais. O controle de umidade, por exemplo, foi fundamental para evitar o desperdício de água e para manter as condições ideais para atividade microbiana, garantindo uma maturação adequada dos compostos. O monitoramento da temperatura também desempenhou um papel importante, pois auxiliou a correlacionar a decomposição dos resíduos e a disponibilidade de nutrientes desenvolvida pela atividade microbiana no terço final da compostagem.

Sendo assim, a presente pesquisa indica que a mistura ideal de material fibroso e resíduos orgânico no processo de compostagem é de 50% para cada componente, independente do biocatalizador ou da fonte fibrosa utilizada. É importante ressaltar que no caso de fases bovina e lodo orgânico como biocatalisadores, mesmo com a remoção total

das fibras, ainda é possível a formação de compostos orgânicos de qualidade. Assim essa abordagem facilita não só a aplicação do processo em diferentes contextos (urbano ou rural) como também oferece soluções para o descarte adequado de resíduos, evitando o acúmulo em lixões ou aterros.

Portanto, os resultados dos diferentes experimentos sobre compostagem desenvolvidos na presente Tese, demonstram que a utilização de diversos biocatalisadores e fontes fibrosas, combinados com o controle adequado de parâmetros ambientais, pode ser uma estratégia eficiente para a produção de compostos orgânicos de qualidade para o tratamento de resíduos urbanos e rurais. Desta forma, a pesquisa aponta diversas alternativas viáveis e sustentáveis para a compostagem, seja pela utilização de biocatalisadores alternativos, como lodo orgânico e fezes de equinos, seja pela combinação de diferentes fontes fibrosas, como bagaço de cana e fibra de babaçu. Fica evidenciado, que o controle rigoroso de parâmetros ambientais, aliado à escolha adequada dos materiais, da proporção de fibra e do resíduo orgânico, é fundamental para a produção e o tratamento eficiente dos resíduos. Sendo assim, as aplicações das alternativas propostas na presente Tese podem contribuir significativamente para a gestão ambiental de resíduos e para a melhoria da fertilidade do solo.

CONCLUSÃO GERAL

Os resultados obtidos a partir da análise de diferentes artigos sobre processos de compostagem demonstram que a otimização da mistura de resíduos orgânicos e materiais fibrosos, assim como a introdução de biocatalisadores alternativos, pode melhorar significativamente a qualidade e a eficiência na produção de fertilizantes orgânicos. A redução gradual do teor de fibras nos processos avaliados, especialmente em uma proporção de 50% para materiais fibrosos e 50% para resíduos orgânicos, mostrou ser ideal para maximizar o aproveitamento de nutrientes e reduzir o impacto ambiental causado pelo descarte inadequado desses resíduos em aterros ou lixões.

A substituição de biocatalisadores tradicionais, como fezes bovinas, por alternativas como lodo orgânico e fezes de equinos, revelou-se viável tanto do ponto de vista técnico quanto econômico. Essa abordagem contribui para o aproveitamento de materiais disponíveis localmente, promovendo práticas mais sustentáveis. Além disso, a utilização de fibras alternativas, como o bagaço de cana-de-açúcar e fibras de palmeira nativa (Babaçu), mostrou-se eficaz na formação de compostos orgânicos, sem comprometer a disponibilidade de matéria orgânica para o solo e plantas, mesmo em

condições de saturação hídrica.

Observou-se também que o monitoramento e controle de parâmetros como temperatura, umidade e pH no terço final do processo de compostagem desempenham papel crucial na maturação dos compostos e na preservação de nutrientes. A adoção dessas práticas evita desperdícios e cria condições ideais para a atividade microbiana, potencializando a qualidade dos fertilizantes produzidos.

Embora o tratamento T₂ (experimento 1) tenha se destacado por apresentar o equilíbrio mais favorável entre os índices avaliados, todos os demais tratamentos testados demonstraram resultados satisfatórios, indicando a flexibilidade das abordagens desenvolvidas. A integração dessas estratégias representa uma solução sustentável e de baixo custo para o manejo de resíduos orgânicos em diferentes contextos, sejam urbanos ou rurais, contribuindo para a redução de impactos ambientais e a promoção da agricultura regenerativa e sustentável.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. G. M. et al. O aproveitamento do resíduo do coco verde para a produção de subprodutos em Aracajú. **RACE-Revista de Administração do Cesmac**, v. 9, p. 190-204, 2021.

CARNEIRO, G. O. et al. Avaliação da qualidade do composto orgânico produzido por meio de compostagem doméstica. **Revista Geama**, v. 10, n. 1, p. 20-27, 2024.

COSTA, F. K. D.; MENEZES, J. F. S.; ALMEIDA JÚNIOR, J. J.; SIMON, G. A.; MIRANDA, B. C.; LIMA, A. M.; LIMA, M. S. Desempenho agrônômico da soja convencional cultivada com fertilizantes organomineral e mineral. **Nucleus**, v.15, n.2, 2018.

SOUZA, L. A. et al. Análise dos principais parâmetros que influenciam a compostagem de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, n. 3, 2020.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A. **Manual de métodos de análise de solo**. 3 ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017.

APÊNDICE I

Apêndice 01 – Imagens Referentes ao Artigo: INFLUENCE OF FIBROUS MATERIAL ON THE COMPOSTING, WITH THE INCLUSION OF DIFFERENT BIOCATALYSTS

Figura 1(c) – Sistema de Gotejamento Automático e Leiras Experimentais.



Fonte: Autores (2022)

Figura 2(a) – Peneiramento e Acondicionamento de Amostras para posteriores Análises.



Fonte: Autores (2022)

Figura 3(a) – Procedimento de Análise de Matéria Orgânica.



Fonte: Autores (2022)

Figura 4(a) – Mesa Agitadora de Amostras, e Processo de Análise de pH.



Fonte: Autores (2022)

Figura 5 (a) – Soluções para análises de P, Na e K.



Fonte: Autores (2022)

APÊNDICE II

Apêndice 02 – Imagens Referentes ao Artigo: REALIZAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM COM A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS FIBROSOS ALTERNATIVOS, SENDO SUBMETIDOS AO ESTRESSE HÍDRICO.

Figura 1(d) – Triturador Orgânico (A), Forrageira (B) e Tratamentos Experimentais.



Fonte: Autores (2022)

Figura 2(b) – Phmetro digital, e Espectrofotômetro de Chamas, para análises de pH, Na e K.



Fonte: Autores (2022)

Figura 3(b) – Leitura de percentual de P e Matéria Orgânica, Preparo de Amostras para Análise de Ca e Mg e Titulação do Alumínio.



Fonte: Autores (2022)

Figura 4(b) – Ataque Químico e Agitação das Amostra para análises físicas do Material.



Fonte: Autores (2022)

Figura 05 (b) – Lavagem de Material Retido na Peneira, Coleta através de Pipetador Automático, e Separação de Areia Grossa e Fina.



Fonte: Autores (2022)

APÊNDICE III

Apêndice 03 – Imagens Referentes ao Artigo: MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS DA COMPOSTAGEM, COM FIBRA DE PALMEIRA NATIVA, E FEZES DE EQUINOS COMO BIOCATALISADOR.

Figura 1(e) – Material Oriundo do Beneficiamento do Babaçu, coletado e utilizado como Fonte Fibrosa de Leiras Experimentais.



Fonte: Autores (2022)

Figura 2(c) – Leiras de Tratamentos Experimentais.



Fonte: Autores (2022)

Figura 03(c) – Protótipo de Monitoramento de Parâmetros de Compostagem.



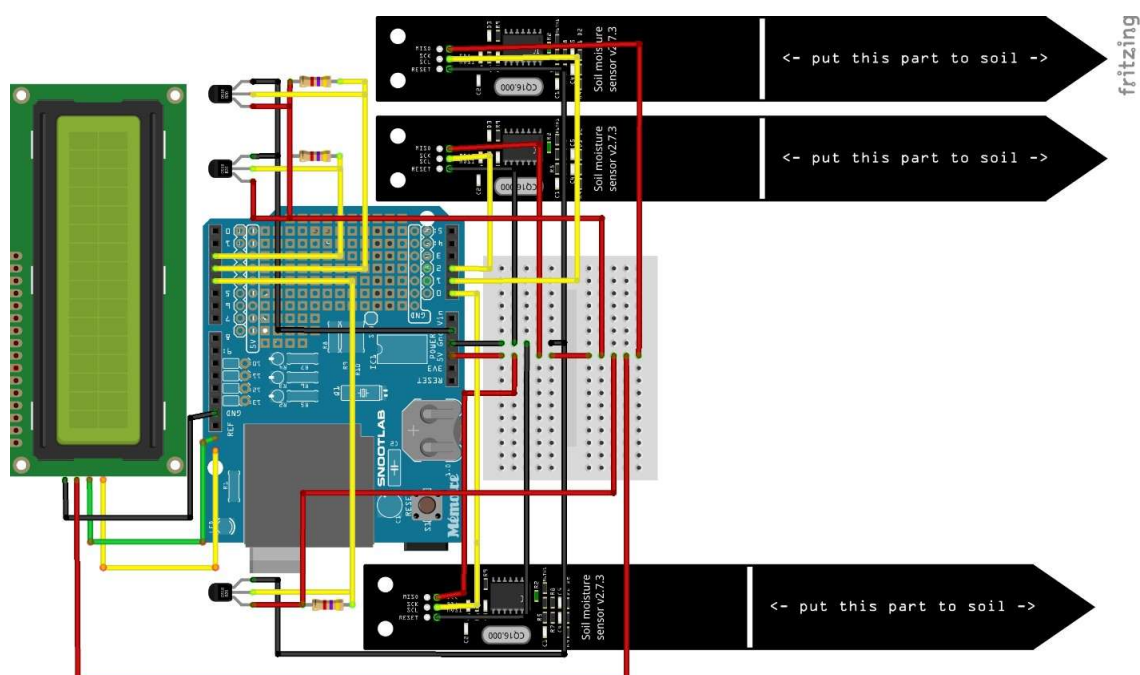
Fonte: Autores (2022)

Figura 4(c) – Coleta de Dados do Dispositivo de Monitoramento de Temperatura e Umidade das Leiras.



Fonte: Autores (2022)

Figura 05 (c) – Esquema de Montagem do Dispositivo de Monitoramento de Temperatura e Umidade das Leiras.



Fonte: Adaptado de Fritzing® (2022)

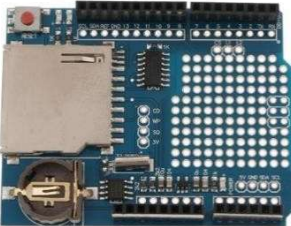
Quadro 01 – Custo de Dispositivo de Monitoramento.

Nº	Descrição	Valor Unitário	Quantidade	Total
1	Módulo sensor de Umidade do solo	R\$ 15,00	3	R\$ 45,00
2	Modulo sensor de Temperatura do Solo (DS18B20) com resistência	R\$ 16,90	3	R\$ 50,70
3	Display LCD Azul 16x2 com Módulo I2C	R\$ 33,86	1	R\$ 33,86
4	Fonte 9V	R\$ 15,00	1	R\$ 34,97
5	Shield Data Logger com RTC DS1307	R\$ 41,90	1	R\$ 41,90
6	Arduino Uno R3	R\$ 60,00	1	R\$ 97,50
7	Cartão SD 4 Gb	R\$ 20,00	1	R\$ 20,00
8	Bateria CR 1220	R\$ 5,00	1	R\$ 5,00
VALOR TOTAL				R\$ 328,93

Fonte: Autores (2022)

Quadro 02 – Equipamentos para Montagem de Dispositivo de Monitoramento.

Descrição	Imagem	Especificação
Arduino Uno R3: Plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única, projetada com um microcontrolador Atmel AVR com suporte de entrada/saída embutido, uma linguagem de programação padrão, a qual tem origem em Wiring, e é essencialmente C/C++. Fonte DC Chaveada 9V 1A Plug P4.		- Microcontrolador: ATmega328 (Removível); - Conversor USB-Serial: Atmega 16U2; - Tensão de Operação: 5V; - Tensão de Entrada (Recomendada): 7~12V; - Tensão de Entrada (LIMITE): 6~20V; - Pinos Entrada/Saída Digitais: 14; - Pinos Entrada/Saída Analógicos: 6; - Corrente DC por Pino E/S: 40mA; - Corrente DC por Pino 3.3V: 50mA; - Flash Memory 32KB (ATmega328) (0.5KB usados pelo bootloader); - SRAM: 2KB (ATmega328); - EEPROM: 1KB (ATmega328); - Velocidade de Clock: 16MHz; - Dimensões: 5,3cm x 7,3cm x 1,2cm;
Display LCD Azul 16x2 com Módulo I2C: Possui 16 colunas e 2 linhas, com “backlight” (luz de fundo) azul e letras na cor branca para demonstrar dados em tempo real. Comunicação serial com protocolo I2C.		- I2C chip: PCF8574; - Controlador do display HD44780; - 2 linhas X 16 caracteres; - Tensão de operação: 5V DC; - Dimensão: 80mm x 35mm x 11mm; - Tamanho da área de visão: 64,5 milímetros x 16 milímetros.;
Jumpers (macho- macho, macho-fêmea e fêmea-fêmea): Auxilia na conexão dos pinos.		- Fios de 24 AWG
Módulo sensor de Umidade do solo (LM393): Afere a condutividade do solo através de uma haste com dois eletrodos e monitora a umidade do mesmo.		- Modelo: CS12; - Interface: Analógica; - Tensão de operação: 5,5VDC; - Tensão de saída: de 0 a 3V - Corrente de operação: 5mA; - Dimensões (CxLxE): 97x22x3mm; - Peso total: 5g;

Descrição	Imagem	Especificação
Modulo sensor de Temperatura do Solo (DS18B20): Sensor capaz de medir em graus Celsius.		- Comunicação 1-Wire; - Tensão de operação de 3.0V ~ 5.5V; - Faixa de operação de -55°C a +125°C, sendo a precisão de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ se estiver operando dentro da faixa de -10°C até +85°C; - Resolução configurável pelo usuário de 9-bit à 12-bit; - Leitura de temperaturas negativas; - Sensor de 6mm de diâmetro; - Tubo de aço inoxidável de 6mm x 35mm;
Shield Data Logger com RTC DS1307: modulo eletrônico desenvolvido para ser utilizados em projetos com arduino, para registro de dados captados pelos sensores. Bateria CR1220 Cartão de memória SD		- RTC DS1307 integrado (Relógio de Tempo Real); - Slot para cartão SD de memória; - Circuito de nível de transmissão 3.3V; - Marca: Keyes; - Modelo: XD-05; - Tipo de pilha: CR1220 - Dimensões (CxLxE): 68x53x10mm; (ignorando-se os pinos)

Fonte: Autores (2022)

ANEXO I

Quadro 03 - Comprovantes de Submissão e/ou Aceitação dos Artigos.



LIFSM

CIÊNCIA^eNATURA



ISSN 2179-480X
OPEN ACCESS

Ci. e Nat., Serra Maria, v. 45, e06, 2023. > <https://doi.org/10.5902/2179480X23017>
submitted: 20/11/2022 > approved: 22/03/2023 > Published: 01/11/2023

Environment

Influence of fibrous material on the composting, with the inclusion of different biocatalysts

Influência do material fibroso na compostagem, com a inclusão de diferentes biocatalisadores

Osman José de Aguiar Gerude Neto¹, Kelly Dammily Costa de Menezes¹,
 Alan Wesliem Pinto Ribeiro², Rafaelle Fonseca Cruz¹,
 Sarah Samene Rocha Garcia¹, Daniel Rocha Pereira¹,
 Fernanda Costa Rosa¹, Edelvio de Barros Gomes¹,
 Darlan Ferreira da Silva¹, Rita de Cássia Mendonça de Miranda²

¹ University Centre of Maranhão, São Luís, MA, Brazil
² Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Sergipe, Glória, SE, Brazil

ABSTRACT

The manuscript demonstrate which percentage indexes of fibrous and organic material are necessary in composting windrows, the replacement of the biocatalyst (feces) by organic sludge, with the purpose of forming an alternative quality fertilizer. Individual windrows were designed with different compositions based on 10 calculations of different proportions. The three different materials used in the composting process for each treatment (T1, T2, T3, T4 and T5 with animal feces as biocatalyst, and T6, T7, T8, T9 and T10, with sludge as biocatalyst). Each treatment consisted of 1kg of material with the following proportions: T1 - 70% of fibrous material and 30% of organic material; T2 - 50% fibrous material and 50% organic material; T3 - 30% fibrous material and 70% organic material; T4 - 10% fibrous material and 90% organic material; T5 - 0% of fibrous material and 100% of organic material, where the following parameters of the organic fertilizers generated were analyzed: physical - granulometry; density and porosity, chemical - Organic Matter; pH; P; K; Ca; Mg; Al; S; B; At; H and CTC. All treatments are within the classification range of soil with weak acidity, since the pH and OM content were between 7.01 and 10.8% respectively. Thus, even with the variation of the organic biocatalysts used, the indices and required levels of the physicochemical parameters analyzed, of all treatments, regardless of the fiber content, were above the references expressed in the literature, demonstrating a high quality in the fertilizers produced.

Keywords: Organic fertilizer; Biological catalyst; Fiber

Fw: [HOLOS]

Rita Miranda
Universidade Ceuma
Mestrado em Meio Ambiente
Doutora em Biologia de Fungos
Mestre em Biotecnologia
Bióloga

De: Profª. Francinaide de Lima Silva Nascimento <ifrnholos@gmail.com>

Enviado: sexta-feira, 29 de março de 2024 15:30

Para: Osman Gerudi <osmangerude@hotmail.com>; VERNER MARINHO DA SILVA NETO <verner53722@ceuma.com.br>; DANIEL ROCHA PEREIRA <daniel.rocha@ceuma.com.br>; DARLAN FERREIRA DA SILVA <darlan005229@ceuma.com.br>; Fernanda Costa Rosa <nandacosttarosa@gmail.com>; Rita Miranda <rita.miranda@ceuma.br>

Assunto: [HOLOS]

Caros(as) autores(as),

Agradecemos pela submissão e confiança no trabalho da Equipe Editorial da Revista Holos.



MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS DA COMPOSTAGEM, COM FIBRA DE PALMEIRA NATIVA E FEZES DE EQUINOS COMO BIOCATALIZADOR

MONITORING THE PARAMETERS OF COMPOSTING, WITH NATIVE PALM FIBER AND EQUINE FECES AS A BIOCATALYST

DOI: <https://doi.org/10.16891/2317-434X.v11.n3.a2023.pp2799-2809> Recebido em: 30.06.2023 | Aceito em: 12.07.2023

Osman José de Aguiar Gerude Neto^a, Daniel Rocha Pereira^a, Thiago Rocha Lima^a, Darlan Ferreira da Silva^a, Rita de Cássia Mendonça de Miranda^a

Universidade CEUMA^a
***E-mail: osmangerude@hotmail.com**

RESUMO

O presente trabalho objetivou, empregar a substituição da fibra tradicional por fibra oriunda de palmeira nativa e fezes de equinos como biocatalizador no processo de compostagem. E para avaliar o processo, foi desenvolvido um protótipo de placa microcontroladora, tipo Arduino Uno R3 que monitorou os parâmetros de temperatura e umidade. O delineamento experimental foi: T1 - Controle: 50% de material fibroso (podas de grama e folhas), 25% de restos de alimentos e 25% de fezes de equinos; T2 - 50% de fibra (Babaçu Fibra Desfiada) 25% de restos de alimentos e 25% de fezes de equinos; T3 - 50% de fibras (Casca de Babaçu), 25% de restos de alimentos e 25% de fezes de equinos; T4 - 50% de fibra (Babaçu Quebrado), 25% de restos de alimentos e 25% de fezes de equinos. Após 30 dias de experimento, as amostras foram peneiradas, embaladas, identificadas e levadas ao Laboratório de Química dos Solos - LABQSL da UEMA. Enquanto os dados registrados pelo monitoramento do Arduino, foram tratados no Excel e transformados em gráficos. As análises químicas do material mostraram valores satisfatórios, principalmente de Matéria Orgânica disponível para o solo. Demonstrando que este processo pode ser utilizado para descarte e reciclagem dos resíduos testados, e que o monitoramento de parâmetros auxilia no entendimento da formação dos compostos orgânicos gerados.

Palavras-chave: Fibra; Matéria orgânica; Placa Microcontroladora.