



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

GÊNESIS ALVES DE AZEVEDO

**MACRÓFITAS AQUÁTICAS: POSSIBILIDADE DE USO AGRÍCOLA APÓS
PROCESSO DE COMPOSTAGEM E, OU VERMICOMPOSTAGEM**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

GÊNESIS ALVES DE AZEVEDO

MACRÓFITAS AQUÁTICAS: POSSIBILIDADE DE USO AGRÍCOLA APÓS PROCESSO DE COMPOSTAGEM E, OU VERMICOMPOSTAGEM

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Especialidade: Sistemas de produção - Manejo e conservação do solo e água.

Orientadora:

Profa Dra. Kátia Luciene Maltoni

FICHA CATALOGRÁFICA

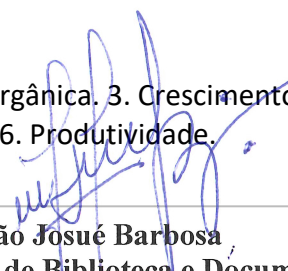
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

A994m Azevedo, Gênesis Alves de.
Macrófitas aquáticas: possibilidade de uso agrícola após processo de compostagem e, ou vermicompostagem / Gênesis Alves de Azevedo. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2021
80 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2021

Orientador: Kátia Luciene Maltoni
Inclui bibliografia

1. Milho (*Zea mays* L.). 2. Adubação orgânica. 3. Crescimento vegetativo. 4. Fertilidade do Solo. 5. Resíduo orgânico. 6. Produtividade.



João Josué Barbosa

Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Diretor Técnico

CRB 8-5642

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Macrófitas aquáticas: possibilidade de uso agrícola após processo de compostagem e, ou vermicompostagem.

AUTOR: GÊNESIS ALVES DE AZEVEDO

ORIENTADORA: KÁTIA LUCIENE MALTONI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA, área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Kátia Luciene Maltoni", is positioned to the right of the text identifying her as the virtual participant.

Prof.^a Dr.^a KÁTIA LUCIENE MALTONI (Participação Virtual)
Departamento de Fitossanidade Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP

Prof.^a Dr.^a GLAUCIA AMORIM FARIA (Participação Virtual)
Departamento de Matemática / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP

Prof. Dr. EPITÁCIO JOSÉ DE SOUZA (Participação Virtual)
Departamento de Agronomia / UniBRAS

Ilha Solteira, 21 de dezembro de 2021

DEDICATÓRIA

À Deus e nossa senhora, que me mantém firme em toda minha trajetória de vida, sem me deixar desistir e desanimar diante das dificuldades.

Aos meus pais James e Conceição que mesmo distantes, sempre me apoiaram de todas as formas, sob todos os pontos de vista, e em todas as circunstâncias, sempre com cuidado, zelo, atenção e amor incondicional.

À Carilene Oliveira de Lima, por toda paciência, coragem, comprometimento, ajuda, e por nunca desistir de me apoiar mesmo nos momentos de maior dificuldade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos amigos Fagner Ângelo, Célio Moreira, Claudia Monteiro e Joaquim Souto por toda ajuda e parceria ao longo de todo período de pesquisas e para que a execução desse trabalho fosse possível.

Aos servidores da UNESP - Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, José Hernandes e César Henrique por todos os serviços prestados, pelo esforço, e pelo empenho para que os experimentos fossem realizados, sempre de forma descontraída e amigável.

Aos professores João Andrade e Marco Eustáquio, pelos ensinamentos, disponibilidade e apontamentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, pelo apoio financeiro.

À minha orientadora e mãe científica, Kátia Luciene Maltoni, pela imensurável dedicação, ensinamentos, compreensão, paciência, pela confiança durante todo processo de desenvolvimento dessa pesquisa e por entender minhas dificuldades e limitações de forma carinhosa e atenciosa.

À UNESP - Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, pela oportunidade de realizar o mestrado.

A todos que ajudaram, direta e indiretamente, no desenvolvimento das atividades, para o meu aprendizado e pelo convívio agradável ao longo do mestrado.

Meu muito obrigado, muito grato.

*“Coração de estudante,
há que se cuidar da vida,
há que se cuidar do mundo,
tomar conta da amizade,
alegria e muito sonho,
espalhados no caminho,
verdes planta e sentimento,
folhas, coração,
juventude e fé”.*

Milton Nascimento

*“Certo ou errado até
A fé vai onde quer que eu vá
A pé ou de avião
Mesmo quem não tem fé
A fé costuma acompanhar
Pelo sim, pelo não”.*

Gilberto Gil

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1: COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS PARA USO AGRONÔMICO

Tabela 1	- Teores totais de arsênio, chumbo, cromo, mercúrio e selênio analisados na macrófita aquática pura, determinados pelo método EPA e tolerâncias máximas segundo MAPA (Instrução normativa Nº 5, 10 de março de 2016 para metais pesados)	27
Tabela 2	- Resultados analíticos para macrófita aquática pura para nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), carbono orgânico (CO), relação C/N, pH, condutividade elétrica (*CE), umidade (¹ Umidade), densidade úmida (² DU), densidade seca (³ DS IN17), capacidade de retenção de água (⁴ CRA 10, ⁵ CRA 10) e capacidade de troca catiônica (⁶ CTC, ⁷ CTC), segundo MAPA (Instrução normativa Nº 61, 08 de julho de 2020 para análise química de compostos orgânicos)	27
Tabela 3	- Análise da fertilidade inicial do solo	28
Tabela 4	- Valores médio de fósforo (P-resina), matéria orgânica (MO), reação do solo (pH), potássio (K ⁺), cálcio (Ca ²⁺), magnésio (Mg ²⁺), acidez potencial (H+Al) e capacidade de troca catiônica (CTC), bem como média geral, coeficiente de variação (CV), <i>p</i> -valor, equações de regressão, coeficiente de determinação (R ²), valor F, desvio e ponto de mínimo (PMin), para as fontes de variação tipo de compostagem (TIPO), tempo de compostagem (TEMPO) e doses aplicadas (DOSES), para experimento conduzido com milho	30
Tabela 5	- Valores médios para pH no desdobramento tipo de compostagem (TIPO) x doses do composto (DOSES), bem como <i>p</i> -valor, equações de regressão, coeficiente de determinação (R ²) e valor F	31
Tabela 6	- Valores médios para acidez potencial (H+Al) no desdobramento tipo de compostagem (TIPO) x tempo de compostagem (TEMPO), tipo de compostagem (TIPO) x doses aplicadas (DOSES), e tempo de compostagem (TEMPO) x doses aplicadas (DOSES), bem como <i>p</i> -valor, equações de regressão, coeficiente de determinação (R ²), valor F e ponto de mínimo (PMin)	33
Tabela 7	- Valores médios para porcentagem de germinação (PG), índice de velocidade de emergência (IVE), altura (ALT), diâmetro (DIAM), número de folhas (NF) e clorofila foliar (SPAD) do milho, bem como média geral, coeficiente variação (CV), <i>p</i> -valor, equações de regressão, coeficiente de determinação (R ²), valor F e ponto de máximo (PM), para as fontes de variação tipos de compostagem (TIPO), tempo de compostagem (TEMPO) e doses aplicadas (DOSES), para experimento conduzido com milho	35
Tabela 8	- Valores médios para índice de velocidade de emergência (IVE) no desdobramento tipo de compostagem (TIPO) x doses do composto (DOSES), bem como <i>p</i> -valor, equações de regressão, coeficiente de determinação (R ²) e valor F	36
Tabela 9	- Valores médios para altura (ALT) e número de folhas (NF) do milho no desdobramento tipo de compostagem (TIPO) x tempo de decomposição (TEMPO) e <i>p</i> -valor	38

Tabela 10	- Valores médios para Diâmetro do Colmo (DIAM) no desdobramento tempo de decomposição (TEMPO) x doses aplicadas (DOSES), bem como <i>p</i> -valor, equações de regressão, coeficiente de determinação (R^2), valor F e ponto de máximo (PM)	39
Tabela 11	- Valores médios para comprimento do sistema radicular (CSR), volume do sistema radicular (VSR), massa fresca (MFPA) e seca (MSPA) da parte aérea, massa fresca (MFSR) e seca (MSSR) do sistema radicular do milho, bem como média geral, coeficiente variação (CV), <i>p</i> -valor, equações de regressão, coeficiente de determinação (R^2), valor F e ponto de máximo (PM), para as fontes de variação tipos de compostagem (TIPO), tempo de compostagem (TEMPO) e doses aplicadas (DOSES), para experimento conduzido com milho	41
Tabela 12	- Valores médios para comprimento (CSR) e volume (VSR) do sistema radicular no desdobramento tempo de decomposição (TEMPO) x doses aplicadas (DOSES), bem como <i>p</i> -valor, coeficiente de determinação (R^2), valor F e ponto de máximo (PM)	42
Tabela 13	- Valores médios para comprimento do sistema radicular (VSR) no desdobramento entre o tipo de insumo (TIPO) x tempo de decomposição (TEMPO), bem como <i>p</i> -valor	43
CAPÍTULO 2: USO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS DECOMPOSTAS E VERMIDECOMPOSTAS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO PRODUTIVO DE MILHO PRECOCE		
Tabela 14	- Teores totais de arsênio, chumbo, cromo, mercúrio e selênio encontrados nas macrófitas aquáticas, determinados pelo método EPA, tolerâncias máximas de contaminantes admitidos em adubos orgânicos e condicionantes do solo segundo MAPA (Instrução Normativa IN SDA nº 7, de 12/04/2016, republicada em 02/05/2016)	54
Tabela 15	- Resultados analíticos das macrófitas aquáticas para nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), carbono orgânico (CO), relação C:N, pH, condutividade elétrica (*CE), umidade (¹ Umidade), densidade úmida (² DU), densidade seca (³ DS IN17), capacidade de retenção de água (⁴ CRA 10, ⁵ CRA 10) e capacidade de troca catiônica (⁶ CTC, ⁷ CTC), segundo MAPA (Instrução normativa Nº 61, 08 de julho de 2020 para análise química de compostos orgânicos)	54
Tabela 16	- Análise de fertilidade antes da incorporação dos compostos ao solo	56
Tabela 17	- Valores médios de altura (ALT), diâmetro (DIAM), número de folhas (NF), número de espigas/planta (NEP), comprimento do sistema radicular (CSR), volume do sistema radicular (VSR) do milho, bem como média geral, coeficiente de variação (CV), valor F, , para as fontes de variação tipo de compostagem (TIPO), tempo de compostagem (TEMPO), tipo de compostagem (TIPO) x tempo de compostagem (TEMPO), tratamento adicional (ADC) x fatorial (FATORIAL), tratamento controle – Solo (ADC 1) x testemunha – NPK (ADC 2) para experimento conduzido com milho em campo	62
Tabela 18	- Valores médios de massa fresca (MFPA) de seca (MSPA) da parte aérea, massa fresca (MFSR) e massa seca (MSSR) do sistema radicular), altura de inserção da 1º espiga (AIE) e comprimento médio de espiga (CME) do milho, média geral, coeficiente de variação (CV), e valor F, para as	64

	fontes de variação tipo de compostagem (TIPO), tempo de compostagem (TEMPO), TIPO x TEMPO, tratamento adicional (ADC) x fatorial (FATORIAL), tratamento controle – Solo (ADC 1) x testemunha – NPK (ADC 2) para experimento conduzido com milho em campo	
Tabela 19	- Valores médios de diâmetro médio de espigas (DME), massa de espigas (ME), massa de grãos (MG), umidade de grãos (UG), número médio de fileiras/espiga (NMFE), número médio de grãos/fileira (NMGF), massa de 1000 grãos (M1000G), bem como média geral, coeficiente de variação (CV), valor F, para as fontes de variação tipo de compostagem (TIPO), tempo de compostagem (TEMPO), TIPO x TEMPO, tratamento adicional (ADC) x fatorial (FATORIAL), tratamento controle – Solo (ADC 1) x testemunha – NPK (ADC 2) para experimento conduzido com milho em campo	66
Tabela 20	- Valores médios para volume do sistema radicular (VSR), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa de espigas (ME) e massa de 1000 grãos (M1000G), para a cultura do milho, no desdobramento da interação tipo de compostagem (TIPO) x tempo de compostagem (TEMPO), bem como <i>p</i> -valor	68
Tabela 21	- Valores médios de altura (ALT), diâmetro (DIAM), número de folhas (NF), número de espigas/planta (NEP), comprimento do sistema radicular (CSR), volume do sistema radicular (VSR) para os tratamentos com NPK, composto (COMP) e vermicomposto (VERM) nos diferentes tempos de compostagem (TEMPO = 20, 40 e 60 dias) e Solo, <i>p</i> valor coeficiente de variação (CV)	69
Tabela 22	- Valores médios de massa fresca (MFPA) e seca (MSPA) da parte aérea, massa fresca (MFSR) e seca (MSSR) do sistema radicular, altura de inserção da 1° espiga (AIE) e comprimento médio de espiga (CME) para os tratamentos com NPK, composto (COMP) e vermicomposto (VERM) nos diferentes tempos de compostagem (TEMPO = 20, 40 e 60 dias) e Solo, <i>p</i> valor e coeficiente de variação (CV)	70
Tabela 23	- Valores médios de diâmetro médio de espigas (DME), massa de espigas (ME), massa de grãos (MG), umidade de grãos (UG), número médio de fileiras/espiga (NMFE), número médio de grãos/fileira (NMGF), massa de 1000 grãos (M1000G) para os tratamentos NPK, composto (COMP) e vermicomposto (VERM) nos diferentes tempos de compostagem (TEMPO = 20, 40 e 60 dias) e Solo, <i>p</i> valor coeficiente de variação (CV)	71
Tabela 24	- Produtividade do Milho (t/ha) nos diferentes tratamentos conduzidos a campo neste trabalho	72

SUMÁRIO

MACRÓFITAS AQUÁTICAS: POSSIBILIDADE DE USO AGRÍCOLA APÓS PROCESSO DE COMPOSTAGEM E, OU VERMICOMPOSTAGEM

2	INTRODUÇÃO	14
3	REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1	Compostagem e Vermicompostagem	15
3.2	Macrófitas aquáticas	17
3.3	<i>Zea Mays</i> L.	19
	REFERÊNCIAS	20

CAPÍTULO 1: COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS PARA USO AGRONÔMICO

4	INTRODUÇÃO	25
4.1	MATERIAL E MÉTODOS	26
4.2	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.3	CONCLUSÃO	44
	REFERÊNCIAS	44

CAPÍTULO 2: USO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS DECOMPOSTAS E VERMIDECOMPOSTAS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO PRODUTIVO DE MILHO PRECOCE

5	INTRODUÇÃO	51
5.1	MATERIAL E MÉTODOS	53
5.2	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
5.3	CONCLUSÃO	72
	REFERÊNCIAS	72
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
	APÊNDICES	78

RESUMO

A partir da compostagem e vermicompostagem é possível transformar diversos resíduos em compostos orgânicos com alto teor nutritivo para as plantas. Assim, o trabalho foi realizado em duas etapas, no primeiro experimento, macrófitas aquáticas submersas e flutuantes foram recolhidas do reservatório da Usina Hidrelétrica de Jupiá, situada no rio Paraná e submetidas ao processo de compostagem e vermicompostagem e testados em casa de vegetação em vasos (5 L) para avaliação do crescimento inicial de milho da variedade DKB 390 PRO3. O experimento seguiu delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial $2 \times 3 \times 5$, (2 tipos de compostagem), 3 tempos de compostagem (20, 40 e 60 dias) e 5 doses (0, 20, 40, 80 e 120 t ha^{-1}), com 4 repetições e uma planta por vaso após desbaste. Já o segundo experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – FEPE da Faculdade de Engenharia/UNESP, Campus de Ilha Solteira onde foram usados os mesmos compostos orgânicos do experimento 1. Esse segundo experimento foi montado em delineamento em blocos casualizado, com 8 tratamentos, sendo três com compostos com 20, 40, 60 dias de compostagem, três com vermicompostos com 20, 40, 60, um tratamento com NPK (testemunha) e um sem adubação (controle), produzindo 4 blocos, com 8 tratamentos e 4 repetições por tratamento, em um total de 32 parcelas experimentais, contendo em cada parcela 6 linhas e 9 plantas/linha, das quais foram avaliadas as linhas centrais. No experimento 1, os compostos aumentaram os teores de P, MO, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} do solo em vaso e não apresentou diferenças entre os materiais orgânicos compostados e vermicompostados para o índice de velocidade de emergência, altura, diâmetro de colmo, número de folhas, massa fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular, comprimento e volume de raiz, indicam ser desnecessário o uso da vermicompostagem das macrófitas para milho em vaso. E no experimento 2, os compostos e vermicompostos foram eficientes para o crescimento e produtividade do milho na maioria das variáveis analisadas, não apresentando interferência apenas na umidade de grãos e número médio de grãos por fileira, já o tempo de compostagem alterou apenas a altura, umidade de grãos, número médio de fileira por espiga e número médio de grãos por fileira. O tratamento controle (Solo) e a testemunha (NPK) apresentaram diferença entre os tratamentos apenas para umidade de grãos. Estes resultados mostram o potencial da macrófita aquática como adubo orgânico vermicompostado, sendo o melhor resultado o vermicomposto com 60 dias, auxiliando no aumento da produtividade da cultura do milho.

Palavras-chave: milho (*Zea mays* L.); adubação orgânica; crescimento vegetativo.

ABSTRACT

From composting and vermicomposting, it is possible to transform various residues into compost compounds with a high nutritional content for the plants. Thus, the work was carried out in two stages, in the first experiment, submerged and floating aquatic macrophytes were collected from the Jupiá Hydroelectric Power Plant reservoir, located on the Paraná River and submitted to the process of composting and vermicomposting and tested in a greenhouse in pots (5 L) to evaluate the initial development of maize of the DKB 390 PRO3 variety. The experiment followed a completely randomized design, in a 2 x 3 x 5 factorial scheme, (2 types of compost), 3 composting times (20, 40 and 60 days) and 5 doses (0, 20, 40, 80 and 120 t ha⁻¹), with 4 repetitions and one plant per pot after thinning. The second experiment was conducted at the Teaching, Research and Extension Farm – FEPE, Faculty of Engineering/UNESP, Ilha Solteira Campus, where the same organic compounds from experiment 1 were used. This second experiment was set up in a randomized block design, with 8 treatments, three with composts with 20, 40, 60 days of composting, three with vermicomposts with 20, 40, 60, one treatment with NPK (control) and one without fertilization (control), producing 4 blocks, with 8 treatments and 4 replications per treatment, in a total of 32 experimental plots, containing in each plot 6 lines and 9 plants/row, of which the central lines were evaluated. In experiment 1, the composts increased the contents of P, MO, K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ of the potted soil and showed no differences between the composted and vermicomposted organic materials for the emergence speed index, height, stem diameter, number of leaves, fresh and dry mass of the aerial part and of the root system, length and root volume, indicate that the use of vermicomposting of macrophytes for maize in pots is unnecessary. And in experiment 2, the composts and vermicomposts were efficient for the growth and yield of corn in most of the analyzed variables, not showing interference only in grain moisture and average number of grains per row, as the composting time only changed the height, grain moisture, average number of rows per ear and average number of grains per row. The control (Soil) and the control (NPK) treatments showed differences between the treatments only grain moisture. These results show the potential of aquatic macrophyte as a vermicompost organic fertilizer, with the best result being the 60-day vermicompost, helping to increase yields in maize crops.

Key-words: corn (*Zea mays*); organic fertilization; vegetative development.

MACRÓFITAS AQUÁTICAS: POSSIBILIDADE DE USO AGRÍCOLA APÓS PROCESSO DE COMPOSTAGEM E, OU VERMICOMPOSTAGEM

1. INTRODUÇÃO

A degradação ambiental tem aumentado progressivamente ao longo dos anos impulsionada pelo capitalismo e pelos avanços tecnológicos que modificam as relações sociais, impactando as formas de consumo e várias questões ambientais. Assim, nota-se que a evolução do ser humano, enquanto ser social, é acompanhada por modificações no ambiente (PINTO *et al.*, 2013) estas, porém, nem sempre são positivas.

De modo individual ou coletivo, as mudanças no meio estão, normalmente, relacionadas ao uso de novas tecnologias, na produção econômica de melhorias internas e do bem-estar social (PINTO *et al.*, 2013).

Questões relativas à degradação ambiental vêm aumentando recentemente, associadas ao desmonte de uma cultura social de que os recursos naturais são infinitos. Com sinais de escassez de alguns recursos, a sociedade inicia uma transformação na sua forma de interpretar o meio ambiente, colocando tanto pessoas como empresas, frente a problemática ambiental, e assim mais comprometidas com questões de sustentabilidade (MENDES, 2021).

Resíduos são remanescentes de processos derivados de atividades humanas, animais, de processos industriais, entre outros e causam, quando descartados em locais inadequados, problemas envolvendo aspectos sanitários, ambientais, sociais e econômicos (CETESB, 2010).

Assim, o reaproveitamento de resíduos principalmente orgânicos a partir de técnicas de compostagem, representa um meio viável e ecologicamente correto, que visa à produção de novos compostos (PINTO, 2020). Essas técnicas consistem na transformação de resíduos orgânicos em um composto, rico em nutrientes e propícios ao uso, tanto na agricultura como em projetos de recuperação de áreas degradadas.

Muitos estudos têm sido documentados sobre o uso de compostagem e vermicompostagem no processamento de diferentes materiais/resíduos orgânicos, mas são poucos os estudos sobre o processamento de macrófitas aquáticas (CHAUDURI, 2021), no entanto, estas têm sido analisadas como alternativas nutricionais para o cultivo de plantas, e seu uso agrícola pode ser bem-sucedido (BARBOSA *et al.*, 2017).

A vermicompostagem se apresenta como uma opção para adubação de diferentes culturas, pois é um tipo de compostagem que utiliza minhocas além dos micro-organismos

naturais para acelerar o processo de degradação da matéria orgânica. A vermicompostagem é mais rápida que a compostagem na ausência de minhocas e produz como substrato o húmus de minhoca. Este é um adubo rico em nutrientes e ótimo para as plantas (CONTINI, 2018).

Análises físico-químicas dos resíduos precisam ser conduzidas para avaliar seus efeitos no solo e no crescimento das plantas (FERREIRA *et al.*, 2013). A utilização de macrófitas aquáticas como adubo orgânico pode ser bastante vantajosa, pois resolve o problema do descarte deste material e da recomposição dos nutrientes no solo, especialmente aqueles sem fase gasosa em seus ciclos biogeoquímicos e que seriam perdidos para os mares, para tanto, é muito importante que suas composições químicas sejam bem conhecidas para evitar que sejam agentes de introdução de elementos tóxicos no ambiente (ESCOSTEGUY *et al.*, 2008).

Atrelado a importância da compostagem/vermicompostagem, para posterior uso das macrófitas na agricultura, tem-se a cultura do milho, que alcançou patamar de destaque na agricultura, como maior cultura agrícola do mundo, sendo a única a ter ultrapassado a marca de 1 bilhão de toneladas, deixando para trás antigos concorrentes, como o arroz e o trigo, concomitantemente à sua importância em termos de produção, a cultura ainda se notabiliza pelos diversos usos, estimativas apontam para mais de 3.500 aplicações deste cereal (CONTINI, 2018). Além da relevância no aspecto de segurança alimentar, na alimentação humana e animal, é possível produzir com o milho uma infinidade de outros produtos, tais como combustíveis, bebidas, polímeros, etc. (MIRANDA, 2018).

Partindo da hipótese de que macrófitas aquáticas submersas e flutuantes podem proporcionar ganhos nutricionais no solo e nas plantas e formas de compostagem podem potencializar e acelerar esses ganhos, os trabalhos tiveram como objetivo a produção de compostos e vermicompostos, a partir de macrófitas aquáticas, com intuito de avaliar a possibilidade de uso agrícola por meio germinação e do crescimento inicial do milho em casa de vegetação e avaliação de variáveis biométricas e produtivas das plantas de milho em campo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Compostagem e Vermicompostagem

Quando se verifica a realidade dos resíduos orgânicos no Brasil, nota-se que a potencialidade de aplicação da compostagem é significativamente alta, começando pela grande quantidade de resíduos orgânicos produzidos. No âmbito dos resíduos sólidos urbanos, a fração orgânica chega a representar mais da metade do total coletado no país, de acordo com a

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Além dos resíduos sólidos urbanos, também há grande geração de resíduos orgânicos em áreas agrícolas (ABRELPE, 2013).

O Brasil é um país cuja economia gira em torno da agroindústria, responsável por uma grande quantidade de subprodutos diversos, boa parte sem reaproveitamento e aplicabilidade em setores distintos. Estima-se que agroindústria, associada às treze principais culturas brasileiras, gera anualmente 334 milhões de toneladas de resíduos. Desse total, 260 milhões de toneladas são gerados apenas pela cultura da cana-de-açúcar, ou seja, cerca de setenta por cento (IPEA, 2020).

Com enfoque na vida útil do solo e na sua conservação, diversos métodos são seguidos com a finalidade de suprimir os impactos dos adubos no meio ambiente, o que acontece quando se utilizam apenas os adubos químicos minerais ao longo de anos de cultivo (ADNAN *et al.*, 2017). A utilização prolongada de adubos químicos de forma desenfreada ou a aplicação de altas dosagens tem causado sérios danos de degradação e destruição dos microrganismos da pedosfera. Portanto, o emprego de adubos orgânicos tem aumentado com o passar dos anos, alinhado ao crescimento de pesquisas relacionado à sua eficiência, resultando na melhoria das estruturas do solo e preservação ambiental (HERNÁNDEZ *et al.*, 2016).

Além disso, a adubação com compostos orgânicos promove o aumento no armazenamento de água, diminui os riscos de erosão, favorece um bom condicionamento nutricional da planta e aumenta a produtividade da cultura, sem ocasionar efeitos adversos ao meio ambiente (ADNAN *et al.*, 2017).

Os adubos orgânicos podem ser produzidos por meio da compostagem de resíduos orgânicos, é um método concentrado e acelerado de decomposição da matéria orgânica semelhante aos processos que ocorrem natural e gradualmente na natureza, para a decomposição e a formação de húmus a partir de matéria orgânica (ADNAN *et al.*, 2017). A adição de compostos orgânicos ao solo aumenta sua capacidade de troca catiônica e sua porosidade, proporcionando melhoria na sua estrutura física e química (ADNAN *et al.*, 2017).

Além disso, esses adubos orgânicos podem proporcionar resultados positivos, como maior disponibilidade de nutrientes para as plantas, elevação no teor de matéria orgânica do solo, aumento da atividade microbiana, aumento da capacidade de armazenamento de água no solo, maior nodulação de raízes, menor lixiviação de nutrientes, diminuição dos riscos de erosão, melhor condicionamento nutricional da planta, aumento da produtividade da cultura, sem ocasionar efeitos danosos ao meio ambiente (ARGAW, 2017; RONG *et al.*, 2018).

A compostagem é um processo de decomposição biológica realizada de forma aeróbia, exotérmica e totalmente controlada, onde os substratos orgânicos são decompostos por meio da ação de microrganismos, com liberação de CO₂, e vapor de água, produzindo, ao final do processo, um produto altamente estável, rico em nutrientes e matéria orgânica e mais humificado, com propriedades e características diferentes do material de origem (REIS, 2005).

A compostagem de materiais orgânicos apresenta diversas vantagens ambientais, dando destaque para decomposição de matéria orgânica, tornando um material de rápida mineralização no solo, deve-se dar enfoque à reciclagem de nutrientes, o destino dos materiais orgânicos de aterros sanitários e a redução na emissão de gás metano resultante de processos anaeróbicos de decomposição (INACIO *et al.*, 2009).

Já a vermicompostagem é um processo de decomposição que utiliza a ação conjunta de minhocas de várias espécies e microrganismos presentes no seu trato digestivo, sob condição aeróbica, com finalidade de estabilizar a matéria orgânica, inviabilizando o grau poluente e contaminante dos resíduos. Neste método, a maior parte dos compostos orgânicos é degradada e os resíduos são transformados em húmus, material rico em nitrogênio, cálcio, magnésio, fósforo, potássio, proteínas e substâncias húmicas (LOURENCO, 2014).

Embora os microrganismos sejam responsáveis pela degradação bioquímica da matéria orgânica, as minhocas são as principais responsáveis pelo processo de fragmentação e condicionamento do substrato. As minhocas trituram a matéria orgânica, melhorando as características físicas: pois aumenta a capacidade de retenção de água, diminui a compactação de solos argilosos e promove a agregação de solos arenosos, químicas: libera os nutrientes mais lentamente, diminuindo as perdas por lixiviação e biológicas: reduzindo gradualmente a relação C/N, aumentando a área superficial exposta a ação microbiana, tornando assim, o material mais facilmente decomposto (DOMINGUEZ, 2004).

2.2. Macrófitas aquáticas

Em virtude dos prejuízos provocados por densas e extensas colonizações de macrófitas frequentemente há a necessidade de controle. A modalidade de controle mais comum é a remoção mecânica das plantas, seguida do problema do descarte dessa biomassa, que está centrado na licença ambiental junto às instituições estaduais de defesa do meio ambiente. O descarte da biomassa desses vegetais segue os mesmos procedimentos requeridos para o depósito de lixo urbano. No entanto, é importante que se avaliem destinos mais nobres para esta

biomassa, uma vez que não há perspectivas de redução do crescimento das macrófitas (BOTTINO *et al.*, 2016).

As macrófitas aquáticas de região tropical têm crescimento durante todo o ano, pois há regimes térmico e luminoso favoráveis, os estudos a campo também sugerem que o crescimento se processa em distintas taxas, isto é, há períodos de maior crescimento ativo ao longo do ano, de modo a minimizar a competição por espaço, nutrientes e luz, esse crescimento não ocorre no mesmo período para as diversas plantas que coexistem no ecossistema aquático (ESTEVES *et al.*, 2016). Assim, ocorre um crescimento diferencial, com espécies crescendo durante períodos mais amplos e outras se desenvolvendo por períodos menores, minimizando os efeitos da competição (NEIFF, 2015).

As macrófitas aquáticas podem apresentar intenso crescimento, tornando-se potencialmente prejudiciais à geração de energia. Em alguns sistemas em São Paulo, a Light gastou cerca de U\$ 3.330.000,00 ao ano para retirada de cerca de 43 caminhões diários de macrófitas aquáticas de reservatórios. A Companhia Hidro Elétrica do São Francisco, sistema Moxotó-Paulo Afonso - BA, retirou das grades de proteção de entrada de água das turbinas grande quantidade de *Egeria densa* (POMPÊO *et al.*, 2015). Os prejuízos são maiores quando somados aos custos envolvidos na interrupção temporária da geração de energia elétrica pela paralisação das turbinas, o intenso crescimento das macrófitas causa transtornos também em reservatórios de abastecimento público (POMPÊO *et al.*, 2015).

Nas pesquisas de Farias, (2016), pode ser encontrado o uso de macrófitas aquáticas em substrato para a produção de mudas de moringa. Morais, *et al.*, (2020) conduziu trabalhos com macrófita aquática para o crescimento de mudas de Jucá, e Cardenas, (2019) aproveitou macrófitas aquáticas na produção de adubo orgânico para o cultivo de plantas medicinais e aromáticas no município de Manaquiri/AM.

As macrófitas, compreendem um grupo diversificado de organismos vegetais macroscópicos, dentre eles podemos citar o grupo das macrófitas submersas, as quais podem estar completamente submersas na coluna d'água. Esses vegetais apresentam um rápido crescimento e dispersão, mesmo em condições de intensa competição com outras espécies aquáticas (BOTTINO *et al.*, 2016).

Em corpos hídricos sob forte intervenção humana, as características do entorno são alteradas, há expressivas modificações nas características originais de fluxo, profundidade e qualidade da água, incluindo os segmentos bióticos e abióticos, assim, o equilíbrio do ecossistema é rompido e algumas populações de macrófitas são favorecidas em detrimento de

outras espécies que são prejudicadas ou não favorecidas pelas alterações promovidas pelo homem (PITELLI *et al.*, 2008).

Dentre as alterações que mais tem contribuído para estas profundas modificações nas comunidades de macrófitas destacam-se a eutrofização da água, alterações do regime hídrico de corpos hídricos com construções de barragens, assoreamento, introdução de macrófitas exóticas e desequilíbrio na pressão de herbivoria com a introdução de animais exóticos (PITELLI *et al.*, 2008).

O crescente aumento da comunidade de macrófitas aquáticas flutuantes e a necessidade de remoção dos corpos d'água impõe a busca por alternativas de uso desse material, assim a utilização destas plantas como substratos para a produção de mudas, no tratamento de efluentes, na produção de biogás e adubação orgânica representam alternativas sustentáveis, baseada em princípios ecológicos, uma vez que as macrófitas aquáticas, juntamente com os microrganismos associados, podem contribuir significativamente no tratamento do solo, da água e do ar (PALMA-SILVA *et al.*, 2012).

Embora seja uma tecnologia emergente, também possui potencial fitorremediador no tratamento efetivo de uma ampla variedade de poluentes orgânicos e inorgânicos, pois as macrófitas apresentam grande capacidade de absorção de nutrientes, principalmente em ambientes eutrofizados (PALMA-SILVA *et al.*, 2012).

2.3. *Zea Mays* L.

O milho (*Zea mays* L.) é considerado, entre os grãos cultivados, o mais comercializado e consumido em todo mundo devido à sua grande versatilidade nas formas de consumo e alta fonte nutricional (GARCÍA-LARA; SERNA-SALDIVAR, 2019).

A área plantada de milho de primeira safra no Brasil 4.992,5 mil hectares e 11.389,3 mil hectares na segunda safra. As áreas cultivadas de milho, safra de verão e segunda safra, em dezembro de 2021, foram responsáveis pela produção recorde de 291,1 milhões de toneladas de milho, sinalizando incremento de 15,1% ou 38,3 milhões de toneladas em relação à safra anterior (CONAB, 2021).

O Brasil está entre os maiores produtores de milho do mundo, ficando atrás somente dos Estados Unidos, mas com uma estimativa de produção de quase 21 milhões de toneladas abaixo do colhido em 2018/19 e a China com previsão de produção de 255 milhões de toneladas, contrapondo a um aumento no consumo de 280 milhões de toneladas o que seria bastante positivo visto que este país, segundo o USDA, tem um estoque de passagem próximo a 200

milhões de toneladas. A safra brasileira 2019/2020 obteve uma das maiores produções, cerca de 102 milhões de toneladas (CONAB, 2020).

Esse aumento na produção de grãos em nosso país está diretamente relacionado aos grandes investimentos no tratamento de sementes e tratos culturais, como na nutrição, correção dos solos, diferentes tipos de adubação e irrigação, com isso produzindo resultados significativos no avanço das melhorias do sistema produtivo do milho no Brasil e no mundo (CONAB; USDA, 2021).

A cultura do milho é uma das mais importante do país, podendo ser utilizado como insumo na fabricação de dezenas de produtos, mas, principalmente, pelas cadeias produtivas de suínos e aves, que consomem entre 65% e 75% da produção nacional, o milho atende tanto a alimentação humana quanto a alimentação animal, incluído como principal fonte de energia. Sua inclusão nas dietas alimentares pode variar de 72% a 92%, dependendo da região do país e do mundo (CRUZ *et al.*, 2011). O milho é considerado um dos cereais mais nutritivos para o consumo humano e proporciona vários benefícios à saúde, os grãos são ricos em energia, carboidratos, proteínas, vitaminas, sais minerais e fibras, que são importantes para o funcionamento e manutenção do intestino humano (MENEGALDO, 2018).

Atualmente cerca de 7% da produção no Brasil de milho se destina ao consumo humano e, mesmo assim, de maneira indireta, na composição de outros produtos. Isso se deve principalmente à falta de informações sobre as qualidades nutricionais do milho, bem como aos hábitos alimentares da população brasileira, que privilegia outros grãos, como o arroz e o feijão. Em outros países, como o México, a situação é diferente, pois o milho é a base da alimentação humana. No Brasil, grande parte da produção de milho é na forma de grãos. No entanto a produção de milho para consumo verde vem despertando interesse de agricultores que vivem próximos dos grandes centros urbanos, haja vista que aumenta cada vez mais a procura desse produto pelo consumidor (MENEGALDO, 2018).

3. REFERÊNCIAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2013**. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2021.

ADNAN, N. *et al.* The impacts and visions of the green fertilizer Technologies (GFT). **World Journal of Science, Technology and Sustainable Development**, Bingley, v. 14, n. 4, p. 336-354, 2017.

- ARGAW, A. Organic and inorganic fertilizer application enhances the effect of Bradyrhizobium on nodulation and yield of peanut (*Arachis hypogea* L.) in nutrient depleted and sandy soils of Ethiopia. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, Tehran, v. 6, n. 3, p. 219-231, 2017.
- BARBOSA, R. M., *et al.* Resíduo orgânico de *Eichhornia crassipes* como fonte de nutrientes no crescimento inicial de plantas de girassol. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Curitiba, v. 12, n. 4, p. 242-247, 2017.
- BOTTINO, F.; CUNHA-SANTINO, M. B.; BIANCHINI JR, I. Decomposition of particulate organic carbon from aquatic macrophytes under different nutrient conditions. **Aquatic Geochemistry**, Dordrecht, v. 22, p. 17–33, 2016.
- CARDENAS, J. D. R. **Aproveitamento das macrófitas aquáticas na produção de adubo orgânico para o cultivo de plantas medicinais e aromáticas no município de Manaquiri/AM**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas,, Manaus, 2019.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo. **Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares** – 2009. São Paulo: Cetesb, 2010. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/publicacoes.asp>. Acesso em: 20 nov. 2021.
- CHAUDURI, P. T. K.; BHATTACHARJEE, G, D. S. K. Mudanças de nutrientes durante a vermicompostagem por *Perionyx excavatus* da erva daninha aquática *Trapa bispinosa*. **Philipp J Science**, p. 127-133, 2021. Não localizei este trabalho, faltando dados, como volume...
- CRUZ, J. C. *et al.* **Produção de milho na agricultura familiar**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 45 p.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO.. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília v. 9. Safra 2021. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_03_13_14_1533_grao_marco_2018.pdf. Acesso em: 24 dez.2021.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília v. 6. Safra 2018/19. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/infoagro/safras/21erre/boletimdasafra Degraos>. Acesso em: 15 set. 2021.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, Brasília v. 1. Safra 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/infoagro/safras>. Acesso em: 10 out. 2021.
- CONTINI, E. M. *et al.* **Milho**: caracterização e desafios tecnológicos. Brasília: Embrapa, 2018. 1 p. (Desafios do Agronegócio Brasileiro, 2)
- DOMINGUES, F. D.; BERTOLETTI, E. Seleção, manutenção e cultivo de organismos aquáticos. In: ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. (ed.). **Ecotoxicologia aquática princípios e aplicações**. São Carlos: Rima, Cap. 7, 2004. p. 153-184.

ESCOSTEGUY, V. *et al.* Extração de nutrientes por macrófitas cultivadas com lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 2, p. 853-860, 2008.

ESTEVES, F. A.; CAMARGO, A. F. M. Sobre o papel das macrófitas aquáticas na estocagem e ciclagem de nutrientes. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 1, p. 273-298, 2016.

FARIAS, W. Monteiro *et al.* Utilização de macrófitas aquáticas em substrato para a produção de mudas de moringa. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 85, p. 25-30, 2016.

FERREIRA, A. S. *et al.* Alteração de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curture e carbonífero. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 755-763, 2013.

GARCÍA-LARA, S.; SERNA-SALDIVAR, S. O. Corn history and culture. *In*: WATSON, S. A.; RAMSTAD, P. E. **Corn chemistry and technology**. St. Paul: AACC, 2019. 647 p..

HERNÁNDEZ, T. *et al.* Use of compost as an alternative to conventional inorganic fertilizers in intensive lettuce (*Lactuca sativa* L.) crops Effects on soil and plant. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 160, p. 14-22, 2016.

INACIO, C. T.; MILLER, P. R. M. **Compostagem**: ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 156 p.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Aproveitamento energético de resíduos**. Brasília-DF. 2020. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10697>. Acesso em: 08 dez. 2021.

LOURENCO, N. M. G. **Características da minhoca *Epígea Eisenia Foetida* benefícios, características e mais valias ambientais decorrentes da sua utilização**. 2014. Disponível em <http://www.slideshare.net/FuturambGSR/caractersticas-da-minhoca-epgea-eisenia-foetida-benefcios-caractersticas-e-emasvalias-ambientais-decorrentes-da-sua-utilizao>. Acesso em: 20 nov. 2021.

MENDES, P. F. **Indicadores físicos e biológicos na recuperação de áreas degradadas: uma revisão da literatura**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) - Universidade de Brasília-UNB, Brasília, 2021.

MENEGALDO, J. G. **A importância do milho na vida das pessoas**. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/artigos/a-importancia-do-milho-na-vida-das-pessoas>. Acesso em: 24 dez. 2021.

MIRANDA, R. A. de. Uma história de sucesso da civilização. **Milho: a granja**, v. 74, n. 829, p. 24-27, 2018.

MORAIS, E. R. C. *et al.* Avaliação de substrato de macrófita aquática para o crescimento de mudas de Jucá (*Libidibia férrea*). **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 8, p. e399985869-e399985869, 2020.

NEIFF, J. J. Aspects of primary productivity in the lower Parana and Paraguay riverine system. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 3, p. 77-113, 2015

PALMA-SILVA, C. *et al.* Uso de *Eichhornia crassipes* (Mart.) solms para fitorremediação de ambientes eutrofizados subtropicais no sul do Brasil. **Revista Perspectiva**, Erechim, v. 36, n. 133, p. 73-81, 2012.

PINTO, M. A. *et al.* Utilização da técnica de vermicompostagem para reutilização de resíduos orgânicos e de macrófitas aquáticas. **Colloquium Exactarum**, v. 12, n. 4, p. 89-100, 2020.

PINTO, N. G. M. *et al.* A degradação ambiental no Brasil: uma análise das evidências empíricas. **Revista Acadêmica de Economia Ambiental**, Málaga, n. 188, 2013. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/erv/observ/y2013i18806.html>. Acesso em: 30 jan. 2022.

PITELLI, R. A.; MARTINS, D.; VELINI, E. D. Interferências e controle de macrófitas aquáticas. In: VARGAS, L.; ROMAN; E.S. (org.). **Manual de manejo e controle das plantas daninhas**. 2. ed: Passo Fundo, 2008.. p. 299-328.

POMPÊO, M. L.; SILVA, S. C.; MOSCHINI-CARLOS, V. A deterioração da qualidade das águas continentais brasileiras: o processo de eutrofização. **Saneas**, Butantã, p. 24-28, 2015.

REIS, M. F. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. 2005. 239 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

RONG, Y. *et al.* Effect of chemical and organic fertilization on soil carbon and nitrogen systems in Europe and Brazil. **Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubate, v. 13, n. 4, p. e2213, 2018.

SILVA, I. F.; COELHO, F. C.; CRUZ, I. Desempenho produtivo de minimilho com adubação orgânica e sua influência nos danos da lagarta-do-cartucho. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, v. 10, n. 1, p. 51-57, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2006.

USDA. Grain: World Markets and Trade. **Argentina and Brazil**: inverse corn export prospects in 2020/21. 2021. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2021.

4. CAPÍTULO 1: COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS PARA USO AGRONÔMICO

RESUMO

O manejo inadequado de plantas aquáticas e seus resíduos influenciam a ecologia de rios, lagos e o ambiente do entorno. Este trabalho teve por objetivo a formulação de compostos e

vermicompostos, a partir de macrófitas aquáticas, para uso agrícola. No experimento as macrófitas foram submetidas ao processo de compostagem natural e vermicompostagem (compostagem com minhocas *Eisenia foetida*), os quais foram testados em cultivo protegido em vasos (5 L), utilizando o milho variedade DKB 390 PRO3 como planta indicadora. O experimento seguiu o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 3 x 5, sendo 2 tipos de produtos ou compostagem (natural, apenas com adição de água e vermicompostagem (adição de água e 1,0 kg de minhoca por m³ de material)), 3 tempos de compostagem (20, 40 e 60 dias) e 5 doses (0, 20, 40, 80 e 120 t ha⁻¹), com 4 repetições e uma planta por vaso após desbaste. Tanto o composto como o vermicomposto aumentaram os teores de P, MO, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ do solo e foram eficientes para o crescimento inicial do milho, que não apresentou diferenças para índice de velocidade de emergência, altura, diâmetro de colmo, número de folhas, massa fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular, comprimento e volume de raiz, quando em solo condicionado com composto ou vermicomposto. Estes resultados indicam ser desnecessário o uso da vermicompostagem das macrófitas e mostram que é possível utilizá-las para condicionamento químico do solo agrícola.

Palavras-chave: fertilidade do solo; *Zea mays* L.; resíduo orgânico.

ABSTRACT

The inadequate management of aquatic plants and their residues influence the ecology of rivers, lakes and the surrounding environment. This work aimed to formulate compounds and vermicomposts from aquatic macrophytes for agricultural use. In the experiment, the macrophytes were submitted to the process of natural composting and vermicomposting (composting with earthworms *Eisenia foetida*), which were tested in protected cultivation in pots (5 L), using corn variety DKB 390 PRO3 as an indicator plant. The experiment followed a completely randomized design, in a 2 x 3 x 5 factorial scheme, with 2 types of products or compost (natural, with only the addition of water and vermicompost (addition of water and 1.0 kg of earthworm per m³ of material)), 3 times of compost (20, 40 and 60 days) and 5 doses (0, 20, 40, 80 and 120 t ha⁻¹), with 4 repetitions and one plant per pot after thinning. Both the compost and the vermicompost increased the contents of P, MO, K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ in the soil and were efficient for the initial growth of corn, which did not show differences for emergence speed index, height, stem diameter, number of leaves, fresh and dry mass of aerial part and root system, length and root volume, when in soil conditioned with compost or vermicompost. These

results indicate that the use of vermicomposting of macrophytes is unnecessary and show that it is possible to use them for chemical conditioning of agricultural soil.

Keywords: soil fertility; *Zea mays*; organic residue.

4.1. INTRODUÇÃO

Encontrar um destino adequado para resíduos e quando possível reutilizá-los tem grande importância dentro do contexto da sustentabilidade ambiental, no entanto, o uso de resíduos orgânicos, muitas vezes, depende da transformação do material inicial em substâncias húmicas estabilizadas, para liberação de elementos químicos (PEREIRA *et al.*, 2013). A compostagem exerce essa função, de transformação dos resíduos orgânicos, evitando impactos ambientais e produzindo fertilizante para o solo. Podendo ser vista como uma forma de reciclar material orgânico, tratando-o naturalmente para transformá-lo em biomassa nutritiva para plantas (SENA *et al.*, 2019).

Dentre os resíduos conhecidos tem-se as macrófitas aquáticas, que podem representar uma fonte alternativa de nutrientes para plantas, reduzindo a demanda por insumos e, consequentemente, os custos de produção, aumentando a lucratividade em negócios agrícolas (HENRY-SILVA *et al.*, 2015).

As macrófitas aquáticas são removidas dos cursos d'água, rios, lagos e etc., por diferentes motivos, ficando depositadas à superfície, passando a ser consideradas um resíduo orgânico, que pode ser melhorado por meio da compostagem e, também, da vermicompostagem. Esta é um processo aeróbio que envolve a fragmentação e a digestão parcial de resíduos orgânicos pelas minhocas, conjuntamente com sua microflora intestinal, bem como microrganismos mesófilos presentes na matéria orgânica (VALENTE *et al.*, 2018).

A fragmentação dos resíduos aumenta a área de exposição aos microrganismos, acelerando o processo de vermicompostagem (FORNES *et al.* (2012). Adicionalmente, a atividade direta das minhocas aumenta significativamente a mineralização do carbono e do nitrogênio do material. Este processo tem como vantagem a menor emissão de gases de efeito estufa, fator importante quando a técnica é utilizada em maior escala (SWATI; HAIT, 2018).

Tanto o composto como o vermicomposto são capazes de promover melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, disponibilizando macro e micronutrientes para a solução que, prontamente, estarão disponíveis às plantas, além de auxiliar na retenção de umidade (MALAFAIA *et al.*, 2015).

Estas premissas permitem abordar a hipótese de que a compostagem e a vermicompostagem de macrófitas aquáticas podem resultar em produtos com características potenciais para uso agrícola. Podendo ajudar a reduzir o volume de resíduos de macrófita acumulados anualmente à superfície dos lagos e rios, refletindo em redução de custos para produção de alimentos.

Desse modo, este trabalho teve o objetivo a formulação de compostos e vermicompostos, a partir de macrófitas aquáticas, com intuito de avaliar a possibilidade de uso agrícola por meio germinação e do crescimento inicial de milho.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em ambiente protegido, de 30 de setembro à 03 de dezembro de 2020, na Faculdade de Engenharia, UNESP, Campus de Ilha Solteira (latitude 20° 25' 58" sul e longitude 51° 20' 33" oeste e altitude de 335 metros). O clima da região é classificado como Aw, segundo Köppen (ALVARES *et al.*, 2013), com chuvas no verão e inverno seco, com temperatura e precipitação médias anuais de 22°C e 1256 mm, respectivamente (HERNANDEZ, 2017).

Conduzido em duas etapas, o experimento contou, na primeira etapa, com a produção de compostos e vermicompostos a partir de macrófitas aquáticas, utilizando 3 tempos de compostagem, e na segunda etapa, estes foram testados como condicionantes do solo, em vasos, utilizando o milho como planta indicadora.

As macrófitas aquáticas utilizadas foram coletadas no período de março a junho de 2020, no reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Jupiá, situada no Rio Paraná, abaixo da confluência com os Rios Tietê e Sucuriú, entre os municípios de Três Lagoas (MS) e Castilho (SP) (20°46'45"S, 51°37'45"W). Estas são, frequentemente, removidas do lago no período de março a junho, devido a obstrução que causam à captação de água nas unidades geradoras da UHE e ficam depositadas à superfície em uma área destinada a isto. As macrófitas de ocorrência comum no reservatório de Jupiá são *Egeria densa*, *Egeria najas* e *Ceratophyllum demersum* (MARTINS *et al.*, 2008). Após terem sido retiradas da água ficaram depositadas à superfície durante 90 dias para redução do excesso de umidade.

Antecedendo a preparação dos compostos e vermicomposto, as macrófitas foram transferidas para local coberto e ventilado, para remoção de resíduos considerados inadequados (plásticos, metais, vidros, borrachas etc), permanecendo neste local por mais 90 dias, sendo revolvidas para secagem do material. Para utilização como matéria prima no preparo de

compostos orgânicos, estas foram analisadas de acordo com a resolução RDC N°07 do MAPA (2016), cujos resultados são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Teores totais de arsênio, chumbo, cromo, mercúrio e selênio encontrados na macrófita aquática, pelo método EPA e tolerâncias máximas segundo MAPA (Instrução normativa n° 5, 10 de março de 2016 para metais pesados)

Parâmetros	Unidade	Teores encontrados	Tolerâncias máximas
Arsênio	mg kg ⁻¹	2,2	20,00
Chumbo	mg kg ⁻¹	16,3	300,00
Cromo	mg kg ⁻¹	34,6	500,00
Mercúrio	mg kg ⁻¹	< 0,1	2,50
Selênio	mg kg ⁻¹	< 0,1	80,00

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 2. Resultados analíticos para macrófita aquática-MAC (nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), carbono orgânico (CO), relação C/N, pH, condutividade elétrica (CE), umidade (Umidade), densidade úmida (DU), densidade seca (DS IN17), capacidade de retenção de água (CRA 10) e capacidade de troca catiônica (CTC)), segundo MAPA (Instrução normativa n° 61, 08 de julho de 2020 para análise química de compostos orgânicos)

Amostra	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	CO	C/N
			g kg ⁻¹				---mg kg ⁻¹ ---		g kg ⁻¹	--- mg kg ⁻¹ ---		g kg ⁻¹	
MAC	15,0	1,7	68,0	13,7	1,9	3,7	52,6	61,2	14,5	1,6	78,3	192	12,8
Amostra	pH	CE	Umidade	DU	DS IN17	CRA 10	CRA 10	CTC	CTC				
		(dS m ⁻¹)	(%m m ⁻¹)	(kg m ⁻³)	(kg m ⁻³)	(%v v ⁻¹)	(%m m ⁻¹)	(mmolc.kg ⁻¹)	(mmolc.dm ⁻³)				
MAC	7,2	1,4	57,5	670,0	284,5	69,0	239,3	655,2	439,0				

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Essa matéria prima foi, então, transferida para pequenas composteiras com capacidade para 0,14 m³ (caixas de cimento, impermeabilizadas e com drenos ao fundo). Durante o período de permanência nas composteiras o material recebeu 5 L de água a cada 2 dias, mantendo a umidade do material entre 40 – 60 % do volume e temperatura entre 50° e 60°C (SARTORI, *et al.*, 2011). A temperatura foi aferida diariamente, com termômetro digital do tipo espeto.

As composteiras (doze unidades) foram separadas em dois grupos. Em um dos grupos, seis composteiras receberam minhocas da espécie *Eisenia foetida* (Vermelha da Califórnia ou minhoca europeia do esterco), de uso comum no Brasil, em quantidade equivalente a 1,0 kg de minhoca por m³ de material (RICCI, 1996). Os produtos das unidades de compostagem que receberam minhocas passaram a denominação de vermicomposto, e os que receberam apenas

água são agora denominados composto. O tempo de permanência destes nas composteiras variou em 20, 40 e 60 dias.

A cada 20 dias, quatro composteiras pararam de receber água. As duas com vermicomposto foram peneiradas (20 mm) para remoção das minhocas. Após alguns dias, quando secos, com 12% de umidade, foram ensacados e armazenados, sendo produzido, assim, um composto e um vermicomposto a cada 20 dias de compostagem (20, 40 e 60 dias).

Numa segunda etapa, compostos (COMP) e vermicompostos (VERM) produzidos foram adicionados ao solo e testados para germinação e crescimento inicial do milho, esta etapa foi conduzida em vasos (5 L), em cultivo protegido. A variedade foi selecionada como planta indicadora por ser um híbrido precoce, com boa tolerância a temperaturas mais elevadas e plantio em baixas altitudes (SAITO; ANDRADE, 2017).

O solo utilizado oriundo de Fazenda de Ensino e Pesquisa da UNESP, FEPE-Bovino, em Selvíria (MS), apresentou textura arenosa (867 g kg⁻¹ areia, 6 g kg⁻¹ de silte e 127g kg⁻¹ de argila) com granulometria determinada pelo método da pipeta (DONAGEMMA *et al.*, 2017) e a análise de fertilidade realizada segundo Raij *et al.* (2001) (Tabela 3).

Tabela 3. Análise da fertilidade inicial do solo

P mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al mmol _c dm ⁻³	Al ³⁺	SB	CTC
1	12	4,9	0,4	6	4	15	2	10,4	25,4
V	m		B		Cu	Fe		Mn	Zn
----- % -----			-----		-----	mg dm ⁻³ -----			
41	16		0,12		0,5	14		3,9	0,1

P = fósforo, MO = matéria orgânica, pH = reação do solo, K⁺ = potássio, Ca²⁺ = cálcio, Mg²⁺ = magnésio, H+Al = acidez potencial, Al³⁺ = alumínio, SB = soma de bases, CTC = capacidade de troca catiônica, V% = saturação por bases, m% = saturação por alumínio, B = boro, Cu = cobre, Fe = ferro, Mn = manganês, Zn = zinco.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Utilizaram-se cinco diferentes doses de COMP e VERM, equivalentes a 0, 20, 40, 80 e 120 t ha⁻¹, com quatro repetições (vasos). Desta forma o experimento seguiu o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 3 x 5, sendo dois tipos de compostagem (COMP e VERM), três tempos de compostagem (20, 40 e 60 dias) e cinco doses (0, 20, 40, 80 e 120 t ha⁻¹), totalizando 120 unidades experimentais (vasos).

Preparadas as unidades experimentais, cinco sementes de milho tratadas com Captan foram introduzidas em cada vaso na profundidade de 1 cm e a germinação foi acompanhada por 4 dias para determinação do índice velocidade de emergência (IVE) e porcentagem de germinação (PG), (MAGUIRE, 1962). Durante o teste de germinação e crescimento inicial a

irrigação foi realizada diariamente e, quando necessário, mais de uma vez ao dia, com água de abastecimento público.

O crescimento inicial foi aferido com 1 planta/vaso (após desbaste realizado 15 dias após a semeadura) no estágio V6, avaliando: número médio de folhas (NF - contagem direta); índice de clorofila foliar (SPAD - medida feita com clorofilômetro digital da marca Konica Minolta); comprimento do sistema radicular (CSR) e altura da planta (ALT) medidos com régua graduada; diâmetro do colmo (DIAM - paquímetro digital); volume do sistema radicular (VSR – proveta graduada e pinça, ZENZEN *et al.* (2007)); massa fresca e seca do sistema radicular (MFSR e MSSR) e da parte aérea (MFPA e MSPA), respectivamente (CARNEIRO, 1985). A MFSR e MFPA foram determinadas com auxílio de balança digital. Para determinação de MSSR e MSPA os materiais foram colocados em sacos de papel de 8 kg e levados a estufa de circulação forçada de ar à 60°C por 48 horas e em seguida pesados.

Na sequência, o solo foi coletado e analisado para fósforo (P), matéria orgânica (MO), reação do solo (pH), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), alumínio (Al^{3+}), acidez potencial ($H+Al$) e capacidade de troca catiônica (CTC), de acordo com Raij *et al.* (2001).

Os resultados obtidos foram testados para a hipótese da normalidade pelo teste Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965). Atendidas as pressuposições procedeu-se à análise de variância (ANOVA), sendo aplicado o teste F a 5% de probabilidade para detectar as diferenças nas fontes de variação e entre os tipos de compostagem. Quando encontrada diferença significativa para tempo de compostagem as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade e para doses foi realizada a análise de variância na regressão. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software SISVAR (FERREIRA, 2019).

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização do COMP e do VERM, produzidos a partir dos processos de compostagem e vermicompostagem das macrófitas aquáticas, em diferentes tempos e doses, proporcionou efeitos significativos ($p<0,05$), ($p<0,01$) e não significativo (ns), para as variáveis analisadas nas diferentes fontes de variação, tipo de compostagem (TIPO), doses do composto (DOSES), tempo de compostagem (TEMPO) e interações (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios de fósforo (P), matéria orgânica (MO), reação do solo (pH), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), acidez potencial (H+Al) e capacidade de troca catiônica (CTC), bem como média geral, coeficiente de variação (CV), *p*-valor, equações de regressão, coeficiente de determinação (R^2), valor F, desvio e ponto de mínimo (PMin), para as fontes de variação tipo de compostagem (TIPO), tempo de compostagem (TEMPO) e doses aplicadas (DOSES), para experimento conduzido com milho

Fontes de Variação	P mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺ mmol dm ⁻³	H+Al	CTC
<i>p</i> -valor								
TIPO (T)	0,5731	0,8035	0,0225	0,8574	0,6217	0,3936	0,6114	0,5959
TEMPO (TE)	0,0751	0,0181	0,1522	0,0383	0,1239	0,3925	0,0125	0,1029
DOSES (D)	0,0000	0,0000	0,1395	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
T x TE	0,4951	0,8435	0,0953	0,6665	0,9252	0,7061	0,0009	0,9304
T x D	0,5697	0,9686	0,0000	0,3215	0,4996	0,5549	0,0000	0,3282
TE x D	0,7030	0,2210	0,6759	0,0926	0,8736	0,9341	0,0000	0,7497
T x TE x D	0,8367	0,9004	0,1162	0,7413	0,9993	0,8024	0,0002	0,9987
Média geral	25	22	6	2	44	16	10	72
CV (%)	44	16	3	41	43	18	15	29
TIPO	Médias							
Composto	26A	21A	6,53A	2,2A	43A	16A	10,1A	71A
Vermicomposto	25A	22A	6,44B	2,3A	45A	16A	10,2A	73A
TEMPO (Dias)	Médias							
20	22A	20B	6,5A	2,0B	38A	15A	10,1A	65A
40	26A	21AB	6,5A	2,1B	45A	16A	9,7B	73A
60	28A	23A	6,4A	2,6A	48A	16A	10,7A	78A
DOSE (t ha ⁻¹)	Médias							
0	9	17	6,4	1,1	20	14	11	46
20	16	19	6,4	1,3	28	14	10	53
40	23	21	6,5	1,7	43	16	9	70
80	38	24	6,5	2,4	59	17	9	88
120	42	26	6,5	4,7	69	19	11	104
Variável	Equações de regressão				R ²	Valor F	Desvio	PMin
P	$\hat{y} = 10,71 + 0,1127 x$				0,9616	107,2405**	0,621	-
MO	$\hat{y} = 17,84 + 0,0232 x$				0,9573	73,7390**	0,875	-
pH	$\hat{y}^{ns}$				-	-	-	-
K ⁺	$\hat{y} = 0,7543 + 0,0148 x$				0,8962	155,5040**	0,263	-
Ca ²⁺	$\hat{y} = 21,92 + 0,1617 x$				0,9682	74,9630**	0,706	-
Mg ²⁺	$\hat{y} = 13,85 + 0,0193 x$				0,9701	32,6970**	0,616	-
H+Al	$\hat{y} = 10,99 - 0,0264 x + 0,0019 x^2$				0,9072	39,0050**	0,140	7
CTC	$\hat{y} = 46,53 + 0,1918 x$				0,9878	81,2710**	0,745	-

^{ns}, * e ** valores não significativos, significativos a 5 e 1 % respectivamente. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância ($p \geq 0,05$) pelos testes F e Tukey, para as fontes de variação T e TE, respectivamente.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O pH do solo foi o único atributo químico a apresentar variações entre os tipos de compostagem realizados (COMP e VERM), sendo superior à 6,4 quando COMP foi incorporado ao solo (Tabela 4). Na presença de VERM o pH atingiu 6,0, embora menor que nos tratamentos que receberam COMP, este pH está adequado ao cultivo da maioria das culturas (KÄMPF, 2000). Para pH foram encontrados resultados significativos no desdobramento TIPO X DOSES (Tabelas 4 e 5). Neste, é possível verificar que o pH responde a adição de doses crescentes de COMP e supera os valores com adição de 120 t ha⁻¹ de VERM, sugerindo maior eficiência do COMP na elevação do pH do solo.

Tabela 5. Valores médios para pH no desdobramento tipo de compostagem (TIPO) x doses do composto (DOSES), bem como *p*-valor, equações de regressão, coeficiente de determinação (R²) e valor F

DOSES (t ha ⁻¹)	TIPO		<i>p</i> -valor	Regressão	TIPO	
	Composto	Vermicomposto			Composto	Vermicomposto
0	6,35b	6,53a	0,0312	Equação	$\hat{y} = 6,37 + 0,0041 x$	$\hat{y}^{ns}$
20	6,40a	6,43a	0,6806	R ²	0,8991	-
40	6,57a	6,47a	0,2195	Valor F	27,104**	-
80	6,57a	6,47a	0,2195			
120	6,74a	6,31b	0,0000			
<i>p</i> -valor	0,0001	0,0849				

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância ($p \geq 0,05$) pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

No entanto esta discussão deve ser cercada de cautela, uma vez que a irrigação foi conduzida com água de abastecimento público, o que resultou em elevação do pH de 4,9 para 6,4 (Tabelas 3 e 4) mesmo onde não se adicionou material compostado ao solo. Esta observação não invalida o efeito de COMP e VERM sobre o pH, mas indica que estes podem ter sido menos intensos. Boni *et al.* (2015), explicam o problema da qualidade da água na região e relatam incrementos em pH ao irrigar o solo com água de abastecimento público, corroborando os dados de pH deste experimento.

O tempo de compostagem influenciou o comportamento da MO e da H + Al, o K⁺ embora com indicação estatística de variação ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey não foi possível detectar diferenças entre os tempos de compostagem (Tabela 4). A MO tem seus teores aumentados em 3g kg⁻¹ com o tempo de 60 dias, o que equivale a 3 kg de MO a mais a cada 1t de macrófita, em relação a 20 dias de decomposição. O comportamento da H + Al também apresenta variações com o TEMPO, tendo aos 40 dias a ocorrência da menor concentração (Tabela 4).

Os atributos químicos avaliados foram influenciados pelas doses de compostos aplicadas (Tabela 4) com incrementos lineares para P, MO, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e CTC, apenas a H + Al apresenta resposta quadrática, diminuindo com a adição das menores doses de COMP e VERM e voltando a aumentar em 120 t ha⁻¹.

Na avaliação estatística dos teores de nutrientes do solo, o P apresenta diferenças significativas ($p < 0,01$) para doses de COMP e VERM aplicadas (0, 20, 40, 80 e 120 t ha⁻¹), tendo a dose equivalente a 120 t ha⁻¹ proporcionado a maior concentração de P no solo, decorrente do maior volume de material orgânico utilizado e da elevação do pH (Tabela 4). Não houve diferença estatística para os valores de P entre COMP e VERM, assim como o tempo de decomposição do material e suas interações não apresentaram diferenças. Desse modo, para o fornecimento de P ao solo não é necessária a vermicompostagem e 20 dias de compostagem são suficientes. Farias *et al.*, (2016) relataram que os substratos com macrófitas foram os mais promissores no fornecimento de P às plantas.

O teor de MO do solo aumentou 53% ao utilizar a dose de 120 t ha⁻¹ (Tabela 4), em relação a não aplicação. Este resultado é semelhante ao observado por Andreotti (2015), em teste feito com palhicho de cana em função de doses de vinhaça em que observaram que o tempo de decomposição do palhicho teve resultados pouco significativo em detrimento das doses de vinhaça aplicadas. O teor de K^+ no solo (Tabela 4) aumenta com as doses aplicadas, chegando a 327 % de incremento na maior dose (120 t ha⁻¹), indicando que o uso de COMP ou VERM, independente do tempo pode adicionar K ao solo (COTTA *et al.*, 2015).

Os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e CTC (Tabela 4) variam em função das doses e aumentaram 245, 36 e 126 %, respectivamente, entre a menor e a maior dose aplicada (0 e 120 t ha⁻¹), mostrando a contribuição dos compostos COMP e VERM na elevação da CTC, e do Ca^{2+} no solo. Os menores incrementos observados para Mg^{2+} , em função das doses aplicadas, são dependentes da composição da macrófita, que contém 1,9 g kg⁻¹ de Mg (Tabela 2) teor reduzido se comparado ao de cálcio (13,7 g kg⁻¹). A acidez potencial (H+Al) gerou resultados significativos para todas as interações testadas (Tabelas 4 e 6), com maior H+Al ocorrendo com 60 dias de vermicompostagem e na dose equivalente à 120 t ha⁻¹.

Tabela 6. Valores médios para acidez potencial (H+Al) no desdobramento tipo de compostagem (TIPO) x tempo de compostagem (TEMPO), tipo de compostagem (TIPO) x doses aplicadas (DOSES), e tempo de compostagem (TEMPO) x doses aplicadas (DOSES), bem como *p*-valor, equações de regressão, coeficiente de determinação (R^2), valor F e ponto de mínimo (PMin)

TIPO	TEMPO (dias)			<i>p</i> -valor
	20	40	60	
Composto	10,46aA	10,13aA	10,00aB	0,5712
Vermicomposto	9,60aA	9,26aA	11,23abA	0,0000
<i>p</i> -valor	0,0600	0,0600	0,0045	

TIPO	DOSES					<i>p</i> -valor
	0	20	40	80	120	
Composto	12,00A	11,00A	9,55A	9,00A	9,44B	0,0000
Vermicomposto	9,44B	9,55B	9,11A	9,00A	13,22A	0,0000
<i>p</i> -valor	0,0000	0,0162	0,4494	1,0000	0,0000	

TIPO	Equações de regressão para (TIPO) x (DOSES)	R^2	Valor F	PMin
Composto	$\hat{y} = 11,30 - 0,0084 x$	0,6594	24,408*	-
Vermicomposto	$\hat{y} = 9,90 - 0,0230 x + 0,0011 x^2$	0,9014	29,036*	10

DOSES (t ha ⁻¹)	TEMPO (dias)			<i>p</i> -valor
	20	40	60	
0	11,50a	10,16a	10,50a	0,1609
20	10,66a	10,16a	10,00a	0,6267
40	9,33a	9,33a	9,33a	1,0000
80	9,00a	9,00a	9,00a	1,0000
120	9,66b	9,83a	14,50a	0,0000
<i>p</i> -valor	0,0049	0,3870	0,0000	

TEMPO	Equações de regressão para (TEMPO) x (DOSES)	R^2	Valor F	PMin
20	$\hat{y} = 11,58 - 0,0735 x + 0,0023 x^2$	0,9679	7,574**	16
40	$\hat{y}^{ns}$	-	-	-
60	$\hat{y} = 10,99 - 0,0302 x + 0,0011 x^2$	0,9172	42,276*	14

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância ($p \geq 0,05$) pelos testes Tukey e F, respectivamente.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os resultados, em relação aos tipos de compostagem realizados, mostram que não há necessidade de vermicompor o material orgânico (Tabela 4), em função da estreita diferença entre os resultados obtidos para todas as variáveis resposta de solo (COTTA *et al.*, 2015), assim o COMP preparado a partir das macrófitas contribui para melhorar o condicionamento químico do solo. O tipo e o tempo de compostagem não trazem ganhos para fertilidade do solo, já as

doses mostraram incrementos positivos para P, MO, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e CTC, o que permite indicar o uso da macrófita compostada como condicionante químico do solo.

A porcentagem de germinação (PG) do milho apresenta diferença significativa ($p < 0,01$) entre COMP e VERM (Tabela 7), com a ocorrência de maior PG nos tratamentos que receberam VERM. Embora com diferenças, a PG foi alta nos dois tratamentos (COMP e VERM), superando os 85% considerados padrão para comercialização do milho (SBRUSSI; ZUCARELI, 2014). As doses de COMP e VERM e o TEMPO, bem como suas interações não promoveram diferenças estatística para PG.

A maior PG ocorreu na presença de VERM o que pode ter relação com a ação das minhocas sobre os processos de humificação, que ao digerir o material orgânico, aumenta o grau de maturação e melhoram as características físicas (Tabela 3) e químicas do VERM (LOUREIRO *et al.*, 2007), criando um meio satisfatório à germinação das sementes de milho, que apresentam média geral de 95% (Tabela 7).

Tabela 7. Valores médios para porcentagem de germinação (PG), índice de velocidade de emergência (IVE), altura (ALT), diâmetro de colmo (DIAM), número de folhas (NF) e clorofila foliar (SPAD) do milho, bem como média geral, coeficiente variação (CV), *p*-valor, equações de regressão, coeficiente de determinação (R^2), valor F e ponto de máximo (PM), para as fontes de variação tipos de compostagem (TIPO), tempo de compostagem (TEMPO) e doses aplicadas (DOSES), para experimento conduzido com milho

Fontes de Variação	PG (%)	IVE	ALT (cm)	DIAM (mm)	NF unidade	SPAD	
<i>p</i> valor							
TIPO (T)	0,0028	0,0669	0,9524	0,1005	0,5170	0,0006	
TEMPO (TE)	0,1541	0,0011	0,0471	0,0073	0,0030	0,3197	
DOSES (D)	0,7447	0,5274	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
T X TE	0,0774	0,0504	0,0487	0,0920	0,0009	0,1190	
T X D	0,7447	0,0229	0,9287	0,7599	0,1235	0,0883	
TE X D	0,3579	0,5798	0,3893	0,0027	0,2556	0,1858	
T X TE X D	0,7921	0,2985	0,1768	0,4314	0,5297	0,5375	
Média geral	91	7	80	12	5	38	
CV (%)	17	45	14	14	16	15	
TIPO	Médias						
COMP	87B	6A	80A	12A	4,5A	36B	
VERM	95A	7A	81A	11A	4,6A	40A	
TEMPO (Dias)	Médias						
20	88A	5B	79AB	11B	4,5AB	38A	
40	94A	8A	84A	12A	4,8A	39A	
60	91A	8A	78B	11B	4,3B	38A	
DOSES (t ha ⁻¹)	Médias						
0	91	7	68	9	3,7	29	
20	93	7	87	12	5,0	42	
40	93	7	93	13	5,5	40	
80	89	7	89	13	5,0	41	
120	88	6	65	10	3,5	39	
Variável	Equações de regressão				R ²	Valor F	PM
ALT	$\hat{y} = 69,85 + 0,8822\ x - 0,0077\ x^2$				0,9781	130,795**	57
DIAM	$\hat{y} = 9,22 + 0,1551\ x - 0,0012\ x^2$				0,9795	198,740**	78
NF	$\hat{y} = 3,88 + 0,0568\ x - 0,0005\ x^2$				0,9453	126,657**	57
SPAD	$\hat{y} = 31,46 + 0,3268\ x - 0,0022\ x^2$				0,6952	39,916**	74

^{ns}, * e ** valores não significativos, significativos a 5 e 1 % respectivamente. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância ($p \geq 0,05$) pelos testes F e Tukey, para as fontes de variação T e TE, respectivamente.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Dados indicando que a presença do VERM no substrato atende às demandas das sementes quanto às condições edáficas adequadas para que ocorra a germinação, além de mostrar que as sementes utilizadas demonstram alto potencial germinativo, característica relativa à qualidade das sementes (SANTOS, 2018). Os diferentes tipos de compostos não influenciaram o IVE, apenas na maior dose de VERM nota-se uma ligeira redução no IVE (Tabela 8), este pode ser um indicativo de dose muito elevada (TUBEILEH; SOUIKANE, 2020).

Tabela 8. Valores médios para índice de velocidade de emergência (IVE) no desdobramento tipo de compostagem (TIPO) x doses do composto (DOSES), bem como *p*-valor, equações de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e valor F

DOSES (t ha ⁻¹)	TIPO		<i>p</i> -valor
	Composto	Vermicomposto	
0	6,60a	7,61a	0,4262
20	6,02b	8,52a	0,0501
40	6,57a	8,18a	0,2026
80	5,16b	7,90a	0,0321
120	7,36a	4,72b	0,0387
<i>p</i> -valor	0,5054	0,0242	
TIPO	Equação de regressão	R^2	Valor F
Composto	$\hat{y}^{ns}$	-	-
Vermicomposto	$\hat{y} = 8,64 - 0,0242 x$	0,5798	6,820*

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste F a 5% ($p \geq 0,05$).

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O TEMPO indica a ocorrência de interferência negativa do menor período de compostagem sobre o IVE (Tabela 7). Esta ocorrência pode estar relacionada ao menor tempo de compostagem (de 20 dias), que pode não ter sido suficiente para estabilização do material, o que pode ter prejudicado o IVE. Compostos orgânicos antes de estarem estabilizados interferem no crescimento das plantas, devido à grande atividade microbiana que o mesmo promove no solo, podendo induzir a inúmeras deficiências minerais, já que estes estarão sendo processados pelos microrganismos (KIEHL, 1998). A interação entre os tipos de compostagem utilizado e as diferentes doses de interferiam estatisticamente nos resultados obtidos para o IVE, nas doses de 20, 80 e 120 t ha⁻¹, com 20 e 80 t ha⁻¹ a melhor resposta ocorre com a aplicação de VERM e com 120 t ha⁻¹ a melhor resposta ocorre na presença de COMP (Tabela 8).

A maioria das variáveis apresentam resposta positiva para as diferentes doses de COMP ou VERM em comparação aos tratamentos que não receberam compostos orgânicos, para o crescimento inicial das plantas (Tabela 7).

As variáveis ALT, DIAM e NF não foram influenciadas pelo COMP ou VERM adicionado ao solo, mas responderam ao TEMPO e às DOSES (Tabela 7), tendo o tempo de compostagem de 40 dias contribuído para a ocorrência de plantas com maior altura, diâmetro e número de folhas. Diante destes resultados pode-se considerar que o tempo de 40 dias é o ideal para seu aproveitamento na cultura do milho, nas condições de crescimento deste trabalho.

Resultados similares foram observados por Souza *et al.*, (2019) avaliando as características físicas e biológicas da compostagem de resíduos animais, na qual determinaram redução do volume do material orgânico a partir de 40 dias de compostagem, fazendo-se revolvimento diariamente. Assim, pode-se considerar que 20 dias de decomposição podem ser insuficientes para preparação e estabilização de COMP e VERM, conferindo resultado inferior para ALT, DIAM e NF (Tabela 9).

Influências significativas de DOSES (0, 20, 40, 80, 120 t ha⁻¹) sobre ALT, DIAM, NF e índice SPAD (clorofila foliar) foram observadas. Em todas as equações, foram encontrados melhores ajustes para equação quadrática, indicando como ponto de máximo 57, 78, 57 e 74 t ha⁻¹, para ALT, DIAM, NF e SPAD, respectivamente (Tabela 7). Estes resultados indicam que, para o crescimento inicial do milho (DKB 390 PRO3), as doses de 80 e 120 t ha⁻¹ foram elevadas, e que doses entre 57 e 78 t ha⁻¹ seriam suficientes para garantir o maior crescimento inicial do milho, nas condições testadas.

Resultados semelhantes foram observados por Coelho *et al.*, (2018) estudando o crescimento e características produtivas de tomate do tipo cereja em diferentes compostos orgânicos no qual não constatarem diferença significativa entre os tipos de compostos para crescimento em altura das plântulas de tomate, avaliados até os 60 dias de crescimento vegetativo.

Embora sem diferenças ($p > 0,05$) para altura, para os tipos de compostagem realizados, o desdobramento da interação TIPO x TEMPO mostra que a altura do milho não variou com o tempo de compostagem na presença de COMP, porém a aplicação do VERM mostra maiores alturas do milho com 20 e 40 dias de vermicompostagem (Tabela 9). Assim, na ausência das minhocas o tempo de compostagem das macrófitas pode ser de apenas 20 dias, e na presença das minhocas o melhor tempo de vermicompostagem varia de 20 a 40 dias. No trabalho de Van Tienen *et al.*, (2020) estudando a compostagem e vermicompostagem para biodegradação da matéria orgânica, os materiais secos e esterco bovino foram estabilizados em um período superior a quarenta dias, tempo mínimo para o maior crescimento das minhocas, sobretudo da espécie africana, e notório aumento do número de indivíduos.

Tabela 9. Valores médios para altura (ALT) e número de folhas (NF) do milho no desdobramento tipo de compostagem (TIPO) x tempo de decomposição (TEMPO) e *p*-valor

TIPO	TEMPO (dias)			<i>p</i> -valor
	20	40	60	
	ALT (cm)			
Composto	77aA	83aA	75aA	0,1330
Vermicomposto	82abA	85aA	81bA	0,0176
<i>p</i> -valor	0,1054	0,7423	0,0658	
	NF			
Composto	4,15bB	4,80aA	4,05bB	0,0088
Vermicomposto	4,90aA	4,85aA	4,50bA	0,0003
<i>p</i> -valor	0,0010	0,8222	0,0453	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si ($p \geq 0,05$) pelos testes Tukey e F, respectivamente.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O NF apresenta comportamento similar à ALT, uma vez que apresenta maior número de folhas nas plantas cultivadas com VERM, com tempo de compostagem variando de 20 a 40 dias (Tabela 9). A qualidade do vermicomposto, em termos de concentração de nutrientes tem efeito significativo na produtividade das plantas, o que depende dos resíduos usados e da tecnologia empregada (TOGNETTI *et al.*, 2005).

O DIAM das plantas, embora não tenha sido influenciado pelo tipo de compostagem realizado, apresenta variações na interação TEMPO x DOSES (Tabela 7 e 10). Na maior dose (120 t ha^{-1}), o DIAM é maior com 40 dias de compostagem. No entanto, o maior DIAM dentro de cada tempo de compostagem é alcançado com doses entre 59 e 69 t ha^{-1} , tornando sem efeito a observação anterior, uma vez que, para doses acima de 69 t ha^{-1} não se espera mais resposta da planta, para DIAM.

Gomes *et al* (2002) citam que o diâmetro das mudas fornece uma estimativa do crescimento inicial da planta em campo, e quando avaliado isoladamente, é um bom parâmetro para expressar a qualidade das mudas ao longo do seu crescimento.

Tabela 10. Valores médios para Diâmetro do Colmo (DIAM) no desdobramento tempo de decomposição (TEMPO) x doses aplicadas (DOSES), bem como *p*-valor, equações de regressão, coeficiente de determinação (R^2), valor F e ponto de máximo (PM)

TEMPO (dias)	DOSES (t ha ⁻¹)					Equação de regressão	R^2	Valor F	PM
	0	20	40	80	120				
20	9,0A	11,9A	13,48A	12,57A	9,96B	$\hat{y} = 9,30 + 0,1381 x - 0,0011 x^2$	0,9435	53,598*	63
40	9,7A	12,3A	13,14A	14,09A	11,70A	$\hat{y} = 9,81 + 0,1268 x - 0,0009 x^2$	0,9538	36,522*	70
60	8,2A	12,7A	13,19A	13,91A	8,26C	$\hat{y} = 8,55 + 0,2005 x - 0,0017 x^2$	0,9583	122,001*	59
<i>p</i> -valor	0,1167	0,4782	0,8738	0,0638	0,0000				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância ($p \geq 0,05$).

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Pôde-se observar que, mesmo nas doses mais elevadas de COMP ou VERM, não ocorreram reduções no crescimento foliar das plantas de milho, ao contrário, observou-se aumento no crescimento, em comparação com tratamento sem adição de COMP ou VERM (Tabela 7).

Isso sugere a não-ocorrência de efeito fitotóxico, atribuível a possíveis contaminações existentes em COMP ou VERM. Tal fato pode ser explicado pela estabilização da matéria orgânica e redução ou eliminação de substâncias fitotóxicas, promovida pelo processo de compostagem que, segundo Kiehl (1998), pode causar danos às plantas, em decorrência da presença de substâncias tóxicas como metais pesados em excesso, formação de ácidos, excesso de sais e nitrogênio, características que são ausentes segundo análise inicial do material (Tabela 1), que demonstrou todos os elementos dentro dos limites permitidos para uso na agricultura.

Para a análise de teores de clorofila a partir do SPAD (clorofilômetro soil plant analysis development), foi observado diferença significativa ($p < 0,01$) para o tipo de compostagem, sendo o VERM superior ao COMP (Tabela 7) nas diferentes avaliações de teores de clorofila para os tratamentos analisados, também observou-se diferença significativa ($p < 0,01$) para as diferentes doses aplicadas nas plantas de milho, obtendo-se maiores teores de clorofila nos tratamentos que receberam quantidades equivalentes a 20 t ha⁻¹ de COMP ou VERM.

Para o conjunto de variáveis MFPA, MSPA, MFSR, MSSR, CSR, VSR não foram encontrados efeitos do tipo de compostagem estudada (Tabela 11), mas todas responderam às doses aplicadas e o TEMPO influenciou MFPA e MSPA resultando em maior produção de biomassa vegetal aérea quando a compostagem durou 40 dias. Com comportamento quadrático em relação às doses de COMP ou VERM, observa-se a ocorrência de ponto de máximo variando de 64 a 66 t ha⁻¹ (Tabela 11), e indicando que doses maiores não são necessárias.

O comprimento do sistema radícula CSR (cm) apresentou aumento com a dose de 20 e 120 t ha⁻¹ (Tabela 11) de composto orgânico, havendo decréscimo no crescimento radicular com as doses correspondentes a 40 e 80 t ha⁻¹ de composto, indicando assim, diferença estatística entre os tratamentos ($p < 0,05$). Este comportamento corroborou a hipótese de Santos *et al.*, (2010) quando este afirma que a utilização de diferentes doses de resíduos orgânicos na composição de substratos para o cultivo de mudas contribui sensivelmente para o crescimento das raízes. Os resíduos orgânicos alteram diretamente as características biológicas do solo, reforçando e estimulando as comunidades microbianas, pois são fontes de carbono, energia e nutrientes para os microrganismos (FREITAS *et al.*, 2010; VIEIRA *et al.*, 2011).

A diferença entre o tipo de insumo (COMP) e (VERM), bem como o TE não interferiram significativamente no crescimento das raízes das plantas de milho, as interações entre TIPO X TEMPO e TEMPO X DOSES também não apresentaram diferença estatística quanto ao crescimento das raízes, já a interação entre o TEMPO X DOSES (Tabela 11), apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre o comprimento das raízes dos diferentes tratamentos.

O estudo realizado por Saraiva *et al.*, (2011), verificou que, maiores doses de fósforo proporcionam maiores valores de comprimento de raiz (Tabela 3), uma vez que este elemento exerce grande importância no processo de transferência de energia, pois compõe a molécula do ATP, que armazena energia produzida na fotossíntese e também na respiração, exercendo assim, influência no crescimento radicular da planta (TAIZ *et al.*, 2015).

Tabela 11. Valores médios para comprimento do sistema radicular (CSR), volume do sistema radicular (VSR), massa fresca (MFPA) e seca (MSPA) da parte aérea, massa fresca (MFSR) e seca (MSSR) do sistema radicular do milho, bem como média geral, coeficiente variação (CV), *p*-valor, equações de regressão, coeficiente de determinação (R^2), valor F e ponto de máximo (PM), para as fontes de variação tipos de compostagem (TIPO), tempo de compostagem (TEMPO) e doses aplicadas (DOSES), para experimento conduzido com milho

Fontes de Variação	CSR (cm)	VSR (cm ³)	MFPA (g)	MSPA (g)	MFSR (g)	MSSR (g)
<i>p</i> valor						
TIPO (T)	0,2031	0,9628	0,1301	0,6289	0,4309	0,4844
TEMPO (TE)	0,3583	0,2184	0,0289	0,0279	0,1376	0,0995
DOSES (D)	0,0500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
T X TE	0,3590	0,0299	0,1683	0,2003	0,0950	0,2007
T X D	0,3089	0,8469	0,9203	0,7819	0,9425	0,8481
TE X D	0,0106	0,0214	0,3147	0,7002	0,6943	0,1165
Média geral	40	33	47	15	35	9
CV (%)	41	37	33	38	27	39
TIPO	Médias					
COMP	41A	33A	49A	15A	36A	9A
VERM	37A	33A	45A	15A	34A	10A
TEMPO (Dias)	Médias					
20	40A	32A	43B	14B	35A	9A
40	42A	36A	52A	17A	37A	10A
60	37A	32A	47B	15B	33A	9A
DOSES (t ha ⁻¹)	Médias					
0	43	21	24	8	25	6
20	44	35	49	15	38	10
40	34	43	63	21	44	12
80	34	44	64	29	44	11
120	42	24	66	32	25	7
Variável	Equações de regressão			R^2	Valor F	PM
CSR	$\hat{y} = 45,44 - 0,3426 x + 0,0025 x^2$			0,7233	6,868*	68
VSR	$\hat{y} = 21,29 + 0,8137 x - 0,0065 x^2$			0,9990	76,898**	63
MFPA	$\hat{y} = 24,87 + 1,36 x - 0,0106 x^2$			0,9935	2,753*	64
MSPA	$\hat{y} = 8,63 + 0,3970 x - 0,0030 x^2$			0,9631	70,075**	66
MFSR	$\hat{y} = 25,09 + 0,7244 x - 0,0060 x^2$			0,9967	99,406**	60
MSSR	$\hat{y} = 6,80 + 0,1829 x - 0,0015 x^2$			0,9611	42,505**	61

^{ns}, * e ** valores não significativos, significativos a 5 e 1 % respectivamente. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância ($p \geq 0,05$) pelos testes F e Tukey, para as fontes de variação T e TE, respectivamente.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O volume do sistema radicular das plantas (VSR, cm³) não respondeu aos diferentes tipos de compostos utilizados (Tabela 11), mas apresentou diferença nas doses de composto e vermicomposto adicionadas (0, 20, 40, 80, 120 t ha⁻¹), havendo aumento no volume das raízes até os tratamentos que utilizaram as doses correspondentes a 40 e 80 t ha⁻¹, ocorrendo diminuição no volume das raízes no tratamento com 120 t ha⁻¹. Não ocorreu diferença entre os

tratamentos em detrimento ao tempo de decomposição dos compostos orgânicos (TEMPO), não tendo interferência no volume da raiz, assim como na interação (TEMPO X DOSE).

Foi verificada interação ($p < 0,05$) entre o tipo de composto x tempo de compostagem (TIPO X TEMPO), e tempo de decomposição x dose (TEMPO X DOSE), diferiram entre si estatisticamente ($p < 0,05$) para volume da raiz das plantas de milho (Tabela 11). O resultado obtido pelas doses 40 e 80 t ha⁻¹ pode estar relacionado as condições físicas do substrato, sendo que o aumento das doses de vermicomposto na composição do substrato propiciou maior porosidade e consequentemente, maior aeração, destacando Lima *et al.*, (2006), que observaram que a aeração do substrato é um dos mais importantes fatores envolvidos no crescimento e volume radicular (Tabela 12).

Tabela 12. Valores médios para comprimento (CSR) e volume (VSR) do sistema radicular no desdobramento tempo de decomposição (TEMPO) x doses aplicadas (DOSES), bem como p -valor, coeficiente de determinação (R^2), valor F e ponto de máximo (PM)

DOSES (t ha ⁻¹)	CSR (cm)				VSR (cm ³)			
	TEMPO (dias)			p -valor	TEMPO (dias)			p -valor
	20	40	60		20	40	60	
0	35,93a	41,68a	52,37a	0,1290	23,12a	22,75a	17,50a	0,5630
20	37,31a	61,87a	33,12b	0,0012	26,00c	36,62b	43,62a	0,0123
40	31,37a	32,75a	37,37a	0,7437	45,62a	41,75a	41,25a	0,7162
80	30,18a	33,00a	38,25a	0,6060	41,25a	48,00a	43,62a	0,5065
120	36,00a	39,81a	50,06a	0,2092	26,25b	31,75a	13,87c	0,0094
p -valor	0,4049	1,0000	0,0490		0,0000	0,0000	0,0000	
TEMPO (Dias)	Equações de regressão para (TEMPO) x (DOSES) - CSR				R^2	Valor F	PM	
20	$\hat{y}^{ns}$				-	-	-	
40	$\hat{y}^{ns}$				-	-	-	
60	$\hat{y} = 49,16 - 0,6268 x + 0,0043 x^2$				0,8519	6,632**	73	
TEMPO (Dias)	Equações de regressão para (TEMPO) x (DOSES) - VSR				R^2	Valor F	PM	
20	$\hat{y} = 20,64 + 0,7177 x - 0,0055 x^2$				0,8082	18,453*	65	
40	$\hat{y} = 22,82 + 0,7437 x - 0,0055 x^2$				0,9820	18,173*	68	
60	$\hat{y} = 20,41 + 0,9796 x - 0,0086 x^2$				0,9115	43,956*	57	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha, por variável, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância ($p \geq 0,05$).

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 13. Valores médios para comprimento do sistema radicular (VSR) no desdobramento entre o tipo de insumo (TIPO) x tempo de decomposição (TEMPO), bem como *p*-valor

COMP	TEMPO (dias)			<i>p</i> -valor
	20	40	60	
	VSR			
Composto	28,45bB	38,65aA	33,65aA	0,0272
Vermicomposto	36,45aA	33,70aA	30,30bA	0,0374
<i>p</i> -valor	0,0285	0,2595	0,2167	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si a 5% de significância ($p \geq 0,05$) pelos testes F e Tukey, respectivamente.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A diferença entre os compostos orgânicos não interferiu significativamente no aumento da MFPA e MSPA das plantas de milho, assim como as interações entre o tipo de composto e o tempo de decomposição. O tipo de composto e as doses, e o tempo de decomposição e as doses respectivamente também não tiveram diferença estatística segundo as análises estatísticas (Tabela 11).

As diferentes doses de insumo diferiram entre si estatisticamente ($p < 0,01$) de probabilidade para a MFPA e MSPA nas duas compostagens trabalhadas, havendo aumento linear para as dosagens, assim, as plantas que receberam a dose equivalente a 120 t ha^{-1} tiveram maior crescimento de parte aérea e conseqüentemente maior massa fresca. O tempo de decomposição dos materiais orgânicos também apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos, sendo distintos os valores da MFPA e MSPA entre as repetições experimentais.

Conforme argumentado por Smet *et al.*, (2006), o ganho em massa fresca da parte aérea das plantas é um processo complexo regulado pelos fatores exógenos, tais como disponibilidade de nutrientes e água, e fatores endógenos, como os hormonais, a exemplo das auxinas.

Não houve diferença estatística ($p \geq 0,05$) entre os tipos de compostos utilizados (COMP e VERM) para MFSR e MSSR, com média de 35 gramas dentre os tratamentos avaliados para MFSR e 9 gramas para MSSR, em contraponto, houve diferença estatística ($p < 0,01$) entre as doses de insumo orgânico (0, 20, 40, 80, 120 t ha^{-1}) nos tratamentos avaliados, tanto para MFSR quanto para MSSR, assim, observou-se melhor crescimento do sistema radicular as plantas de milho que receberam a dose equivalente a 40 t ha^{-1} , para ambas as variáveis MFSR e MSSR verifica-se que os dados estão próximos à linha de regressão ajustada (R^2).

Pode-se então aferir que tal resultado para as diferentes doses dos compostos é esperado devido à combinação de fatores físicos do material utilizado. Conforme descrito por Taiz *et al.*,

(2015), a MFSR só aumenta satisfatoriamente quando o substrato combina boa aeração com alta capacidade de retenção de água e boa drenagem, assim como as substâncias húmicas que exercem várias funções nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (STEVENSON, 2012), refletindo no melhor ganho de massa fresca.

4.4. CONCLUSÃO

Tanto o composto como o vermicomposto produzidos a partir de macrófitas aquáticas aumentaram os teores de P, MO, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ do solo.

As macrófitas tanto decomposta naturalmente, como vermidecomposta contribuíram para o crescimento inicial do milho (DKB 390 PRO3), apresentando resultados para índice de velocidade de emergência (IVE), altura (ALT), diâmetro de colmo (DC), número de folhas (NF), massa fresca (MFPA) e seca da parte aérea (MSPA) e do sistema radicular, comprimento (CSR) e volume de raiz (VSR).

Em função da sensível diferença entre os resultados dos tratamentos com compostos e vermicompostos, torna-se desnecessário o uso da vermicompostagem, podendo ser utilizado o produto da compostagem das macrófitas para condicionamento químico do solo agrícola.

4.5. REFERÊNCIAS

ALVARES, C. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Garmisch-Partenkirchen, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANDREOTTI, M. *et al.* Acúmulo de nutrientes e decomposição do palhço de cana em função de doses de vinhaça. **Bioscience Journal**, Bengaluru, v.31, n. 2, p. 563-576, 2015.

BONI, T. S. *et al.* Influência da qualidade da água em experimento conduzido em vasos. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 24, n. 4, p. 343-354, 2015.

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

COELHO, R. G. *et al.* Crescimento e características produtivas de tomate do tipo cereja em diferentes compostos orgânicos. **Revista Espacios**, Caracas, v. 39, n. 26, p. 29-41, 2018.

COTTA, J. A. O. *et al.* Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas usando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 65-78, 2015.

DONAGEMMA *et al.* Análise granulométrica. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, p. 95-116, 2017.

FARIAS, W. M. *et al.* Utilização de macrófitas aquáticas em substrato para a produção de mudas de moringa, **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 85, p. 25–30, 2016.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FORNES, F. *et al.* Composting versus vermicomposting: a comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. **Bioresource Technology**, Lucnau, v. 118, p. 296-305, 2012.

FREITAS, I. C. *et al.* Microbial and enzymatic activity in soil after organic composting. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 757-764, 2010.

GOMES, J. M. *et al.* Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Impacto das atividades de aquicultura e sistemas de tratamento de efluentes com macrófitas aquáticas–relato de caso. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 163-173, 2018.

KÄMPF, A. N. Seleção de materiais para uso como substrato. In: KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. H. (ed.). **Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Genesis, 2000. p. 139-145.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem**: maturação e qualidade do composto. São Paulo, Piracicaba, 1998. 171 p..

LIMA, R. L. S. *et al.* Volume de recipientes e composição de substratos para produção de mudas de mamoneira. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 480-486, 2006.

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

MAGUIRE, J. D. Speed of germination—aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor 1. **Crop Science**, Hoboken, v. 2, n. 2, p. 176–177, 1962. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>. Acesso em: 23 dez. 2021.

MALAFIA, G. *et al.* Vermicompostagem de lodo de curtume em associação com esterco bovino utilizando *Eisenia foetida*. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 4, p. 709-716., 2015.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Registros e autorizações**. 2016. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/registros-autorizacoes//>. Acesso em: 22 fev. 2021.

MARTINS, D. *et al.* Caracterização da comunidade de plantas aquáticas de dezoito reservatórios pertencentes a cinco bacias hidrográficas do estado de São Paulo. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 17-32, 2008.

PEREIRA, R. A. *et al.* A compostagem como alternativa para a problemática dos resíduos agroindustriais no Sertão Paraibano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 8, n. 1, p. 269-273, 2013.

RAIJ, B. Van *et al.* **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 212 p.

RICCI, M. S. F. **Manual de vermicompostagem**. Porto Velho (RO): EMBRAPA-CPAF, 1996. 23 p. (EMBRAPA-CPAF-Rondônia. Documentos 31).

SAITO, B. C.; ANDRADE, J. A. D. C. Potencial de linhagens oriundas de populações de milho braquítico para obtenção de híbridos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 16, n. 1, p. 120-130, 2017.

SANTOS, D. H. *et al.* Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, n. 1, v.15, p.443-449, 2010.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. revisada e ampliada, Brasília: Embrapa, 2018. 531 p.

SARAIWA, K. R. *et al.* Produção de mudas de mamoeiro sob doses de adubação fosfatada utilizando como fonte superfosfato simples. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 5, n. 4, p. 376 – 383, 2011.

SARTORI, V. C. *et al.* Adubação verde e compostagem: estratégias de manejo do solo para conservação das águas. **Cartilha para agricultores** [recurso eletrônico]/org.- Caxias do Sul, RS: Educs. 2011. Disponível em: <http://www.ucs.br/site/nucleos-pesquisa-e-inovacao-e-desenvolvimento/nucleos-de-inovacao-e-desenvolvimento/agricultura-sustentavel/> Acesso em: 12 set. 2020.

SBRUSSI, C. A. G; ZUCARELI, C. Germinação de sementes de milho com diferentes níveis de vigor em resposta à diferentes temperaturas. Semina: **Ciências Agrárias**, Recife, v. 35, n. 1, p. 215-226, 2014.

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

SHAPIRO S. S.; WILK M. B. Analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, Oxford, 52, p. 591-611., 1965.

SMET, I. *et al.* Lateral root initiation or the birth of a new meristema. **Plant Molecular Biology**, Yokohama, v. 60, n. 6, p. 871-887, 2006.

SOUZA, H. A. *et al.* Características físicas e microbiológicas de compostagem de resíduos animais. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia (Online)**, Belo

Horizonte, v. 71, p. 291-302, 2019.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reactions. New York: John Wiley, 2012. p. 1-23

SWATI, A.; HAIT, S. Greenhouse gas emission during composting and vermicomposting of organic wastes - A review. **CLEAN - Soil, Air, Water**, Medford, v. 46, n. 6, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Plant physiology and development**. 6.ed. Massachusetts-EUA: Sinauer Associates, Inc. Publishers, 2015. p. 553-590.

TOGNETTI, C. F.; LAOSA, M. J.; MAZZARINO, M. T. H. Composting vs. vermicomposting: A comparison of end product quality. **Compost Science & Utilization**, Londres, v. 13, p. 6–13, 2005.

TUBEILEH, A. M.; SOUIKANE, R. T. Effect of olive vegetation water and compost extracts on seed germination of four weed species. **Current Plant Biology**, Pensilvânia, v. 22, p. 100150, 2020.

HERNANDEZ, F. B. T. *et al.* Necessidade de irrigação na cultura da cana-de-açúcar em função da época de colheita. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 4, 2017, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: ABID, 2017.

Disponível em: http://www.feis.unesp.br/irrigacao/pdf/inovagri_2017/ascoli_cana_inovagri_2017.pdf. Acesso em: 17 jul. 2021.

VALENTE, B. S. *et al.* Variabilidade na composição química de vermicompostos comerciais. **Revista Verde**, Cataguases, v. 13, n. 4, p. 557-562, 2018.

VAN TIENEN, Y. M. DA SILVA *et al.* Avaliação da compostagem e vermicompostagem para biodegradação da matéria orgânica. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 6, n. 7, p. 46833-48639, 2020.

VIEIRA, G. D. A.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V. Atributos microbianos do solo após a adição de lodo anaeróbio da estação de tratamento de efluentes de parboilização do arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 543-550, 2011.

ZENZEN, I. L. *et al.* Área foliar e volume do sistema radicular em plantas de soja inoculadas com Estirpes de *Bradyrhizobium* e submetidas ao alagamento. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 1092-1094, 2007.

5. CAPÍTULO 2: USO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS DECOMPOSTAS E VERMIDECOMPOSTAS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO PRODUTIVO DE MILHO PRECOCE

RESUMO

Com o aumento contínuo dos custos de produção agrícola torna-se importante o uso de processos que permitam a reciclagem de nutrientes oriundos de resíduos orgânicos, que possuam potencial de condicionar solos e fertilizar cultivos agrícolas. Desse modo, este trabalho teve o objetivo de utilizar compostos e vermicompostos, a partir de macrófitas aquáticas, na produção agrícola de milho (*Zea mays*) e avaliar o desempenho biométrico e produtivo das plantas ao longo do ciclo vegetativo e reprodutivo em resposta a adubação orgânica. O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – FEPE da Faculdade de Engenharia/UNESP, Campus de Ilha Solteira. Foram produzidos dois compostos orgânicos (Composto -COMP e Vermicomposto-VERM), a partir da compostagem de macrófitas aquáticas. O experimento foi montado em delineamento em blocos casualizado, com 8 tratamentos, sendo três com COMP – 20, 40, 60 dias de compostagem (ddc), três com VERM – 20, 40, 60 ddc, um com adubação NPK e um sem adubação, produzindo 4 blocos, com 8 tratamentos e 4 repetições por tratamento, em um total de 32 parcelas experimentais, contendo em cada parcela 6 linhas e 9 plantas/linha, das quais foram consideradas para avaliação duas linhas centrais e 5 plantas em cada linha (10 plantas úteis por parcela), obedecendo os limites de bordadura de 2 linhas e 2 metros lineares. Os compostos e vermicompostos foram eficientes para o crescimento e produtividade do milho na maioria das variáveis analisadas, não apresentando diferença entre os tipos de compostos apenas para UG, NMGF e para o tempo de compostagem apenas para ALT, UG, NMFE, NMGF. Entre o tratamento controle (Solo) e a testemunha (NPK) apenas UG não apresentou diferença estatística entre os tratamentos. Estes resultados mostram o potencial da macrófita aquática como adubo orgânico vermicompostado, sendo o melhor resultado com 60 dias de compostagem, ajudando a promover aumento dos nutrientes do solo e promovendo maior produtividade da cultura do milho.

Palavras-chave: composto orgânico; produtividade; *Zea mays* L.

ABSTRACT

With the continuous increase in agricultural production costs, it is important to use processes that allow the recycling of nutrients from organic residues, which have the potential to condition soils and fertilize agricultural crops. From composting and vermicomposting, it is possible to transform various residues into organic compounds with a high nutritional content for plants. Thus, this work aimed to use composts and vermicomposts from aquatic macrophytes in the agricultural production of corn (*Zea mays*) and to evaluate the biometric and productive performance of plants throughout the vegetative and reproductive cycle in response to organic fertilization. The experiment was conducted at the Teaching, Research and Extension Farm – FEPE, Faculty of Engineering/UNESP, Ilha Solteira Campus. Two organic compounds (Compost and Vermicompost) were produced from the composting of aquatic macrophytes. The experiment was set up in a randomized block design, with 8 treatments, three with Compost - 20, 40, 60 days of compost, three with Vermicompost - 20, 40, 60 days of compost, one with NPK fertilization and one without fertilization, producing 4 blocks, with 8 treatments and 4 replications per treatment, in a total of 32 experimental plots, containing in each plot 6 lines and 9 plants/row, of which two central lines and 5 plants in each row were considered for evaluation (10 useful plants per plot), obeying the boundaries of 2 lines and 2 linear meters. Composts and vermicomposts were efficient for maize growth and productivity in most of the analyzed variables, which showed no difference between the compounds only for UG, NMGF and for the composting time only for ALT, UG, NMFE, NMGF. In the additional treatments ADC1 (Soil) and ADC2 (NPK) only UG showed no statistical difference between treatments. These results show the potential of aquatic macrophyte as organic vermicompost fertilizer, with the best result after 60 days of composting, helping to promote an increase in soil nutrients and promoting greater productivity in the corn crop.

Key-words – Organic compound; Productivity; *Zea mays* L.

5.1. INTRODUÇÃO

O alto custo dos fertilizantes sintéticos e a dependência de importações, de fontes de nutrientes como fósforo e potássio, elevam o custo da produção agrícola e podem limitar a produtividade de grãos, (RAMOS, 2017). Assim, a busca por alternativas a esses fertilizantes se dá tanto pelo alto custo e sua crescente demanda, como pela procura por produtos orgânicos, que vem aumentando e determina mudanças nos sistemas de produção, que não permitem o uso de fertilizantes químicos sintéticos e agrotóxicos (PORTUGAL *et al.*, 2016; MAPA, 2003).

A partir do aproveitamento de resíduos naturais podem ser obtidos insumos orgânicos para uso agrícola (PORTUGAL *et al.*, 2016). Dentre os diversos materiais de origem orgânica com potencial para aproveitamento na agricultura, como fonte alternativa de nutrientes para as plantas, pode-se citar as macrófitas aquáticas submersas, flutuantes ou emersas, que são removidas dos corpos d'água por interferirem em atividades econômicas, como a interrupção temporária da geração de energia elétrica devido à obstrução das entradas de água para as turbinas (DUGDALE *et al.*, 2013; POMPÊO; MOSCHINI-CARLOS, 2003), dificultando a pesca e as atividades recreacionais como natação, canoagem, entre outros (VERHOFSTAD; BAKKER, 2019).

As macrófitas aquáticas sequestram das águas nitrogênio, fósforo, potássio, e outros nutrientes, para produção de biomassa, estes nutrientes são posteriormente liberados no processo de decomposição (BALASUBRAMANIAN *et al.*, 2013), assim, as macrófitas têm potencial para uso como adubo orgânico (VARMA *et al.*, 2018), particularmente em regiões onde são mecanicamente removidas das águas, pois precisam ser depositadas em aterro sanitário, o que resulta em despesas de transporte (POMPÊO, 2017).

A biomassa das macrófitas pode ser aproveitada na fitorremediação, como fertilizante, biogás, como ração animal e em tanques para piscicultura como alimento, tratamento de efluentes, entre outros (POMPÊO, 2008; POMPÊO, 2017; SOUZA *et al.*, 2021).

Assim, trabalhos com macrófitas aquáticas como adubo orgânico já foram conduzidos, Sampaio *et al.*, (2007) testaram *Egeria densa* como adubo na produção de milho e obtiveram resultados promissores, Souza *et al.*, (2021) utilizaram *Salvinia auriculata*, *Thalia geniculata*, *Cyperus auriculatus* e a mistura destas no cultivo de girassol, com resultados positivos. Mees, (2006) produziu adubo orgânico, a partir da compostagem de aguapé e Najjar, (2017) utilizou *Eichornia crassipes* como adubo orgânico, na produção de beringela, após a vermicompostagem com *Eisenia fetida* e obteve bons resultados.

O processo de compostagem e vermicompostagem é útil e necessário. Dentre vários benefícios, tem-se a redução do volume, homogeneização do material e segundo, aumento na concentração de macro e micro nutrientes no produto final após a vermicompostagem, além de reduzir o tempo para maturação do composto e interferir na estabilidade do material, tornando-o mais assimilável pelas plantas quando adicionado no solo (DEKA *et al.*, 2003).

O uso agrícola das macrófitas após compostagem é uma boa alternativa para destinação desse resíduo, além de evitar problemas ambientais e produzir fertilizantes orgânicos, promovendo a reciclagem de matéria orgânica, uma vez que o resíduo é tratado naturalmente e se transforma em biomassa nutritiva para plantas, o processo de compostagem ocorre devido à ação de microrganismos e na vermicompostagem há uma relação simbiótica entre as minhocas e os microrganismos do trato digestório destas (VALENTE *et al.*, 2018).

A incorporação ao solo de composto ou vermicomposto, introduz uma importante fonte de matéria orgânica, cuja função no solo está vinculada ao fornecimento de nutrientes às plantas, principalmente fósforo (P), elemento limitante ao desenvolvimento da agricultura em solos intemperizados de ambientes tropicais (TIESSEN; MOIR, 1993). Nesses solos, o componente orgânico representa parte considerável do conteúdo disponível de P (TURNER *et al.*, 2003).

Na cultura do milho a deficiência de P nos estádios iniciais de desenvolvimento acarreta redução no índice de espiga, representado pelo número de espigas por unidade de área, e consequentemente, redução na produção final dos grãos (MENGEL; KIRKBY, 1987).

O crescimento exacerbado da vegetação aquática em cursos d'água e reservatórios naturais ou artificiais tem criado uma condição de desequilíbrio ambiental, e tem sido atribuído ao carregamento de fertilizantes agrícolas, efluentes de esgotos residenciais e industriais, os quais impõe ao ambiente aquático grande disponibilidade de nutrientes, e acelera o crescimento da vegetação aquática indesejável (VELINI, 2000; BRAGA, 2002).

Contudo, particularmente no caso das macrófitas aquáticas, mesmo com a aceleração do crescimento, não há interesse na sua supressão de reservatórios e rios, pois, essas plantas compõem a flora dos ecossistemas aquáticos e têm funções extremamente importantes e bem definidas na dinâmica química e biológica de todo o ecossistema (RODRIGUES, 2011), sem contar que sua erradicação dificilmente seria bem-sucedida devido à colonização continuada por propágulos originários de tributários superiores (BINI *et al.*, 2015).

A temática principal desse estudo tem como hipótese o reciclo da biomassa vegetal produzida pelas macrófitas aquáticas extraídas das águas, que por meio da compostagem e, ou

vermicompostagem, podem dar origem a insumos agrícolas e ao mesmo tempo dar destino adequado a elas.

Desse modo, o objetivo desse trabalho foi avaliar a resposta nutricional de compostos orgânicos (compostados e vermicompostados) na cultura do milho (*Zea mays* L.), ao longo do ciclo vegetativo (V) e reprodutivo (R), além analisar a produtividade da cultura.

5.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de dezembro de 2020 a maio de 2021, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – FEPE da Faculdade de Engenharia/UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria/MS, município de Selvíria (MS), apresentando coordenadas geográficas, latitude: 20° 22' 11" Sul, longitude: 51° 25' 9" Oeste de Greenwich, com altitude de 335 metros.

O clima da região é classificado como tropical (Aw), segundo Köppen, com chuvas no verão e inverno seco, com temperatura e precipitação médias anuais de 23,5° C e 1.370 mm anual (ALVARES *et al.*, 2013).

O experimento teve andamento em duas etapas, na primeira foram produzidos compostos orgânicos (Composto e Vermicomposto), a partir de macrófitas aquáticas, e na segunda etapa estes compostos foram testados a campo, tendo sido incorporados ao solo nos sulcos de plantio. O milho (*Zea mays*), variedade DKB 390 PRO3, híbrido precoce, com boa tolerância a temperaturas mais elevadas e plantio em baixas altitudes (SAITO, 2017), utilizado foi como planta indicadora.

As macrófitas aquáticas utilizadas foram removidas do reservatório da Usina Hidrelétrica de Jupiá (UHE-J), situada no Rio Paraná, entre os municípios e Três Lagoas (MS) e Castilho (SP) (20°46'45"S, 51°37'45"W). Estas são periodicamente removidas da tomada de água das unidades geradoras, devido a obstrução que causam. No reservatório da UHE de Jupiá as macrófitas de maior ocorrência são *Egeria densa*, *Egeria najas*, *Ceratophyllum demersum*, *Salvinia auriculata*, *Merremia* sp., *Typha latifolia* e *Cyperus* spp. (MARCONDES *et al.*, 2006).

Antecedendo a preparação dos compostos, as macrófitas foram depositadas em local aberto para redução da umidade e, conseqüentemente, do volume. Após um período de 90 dias, foram recolhidas para beneficiamento, isto é, remoção de materiais inorgânicos indesejados, que ocorrem misturados às macrófitas.

Após limpeza do material, amostras foram coletadas para análise química e averiguação da possibilidade de uso agrícola desse material, segundo as exigências do MAPA Nº 02 de maio de 2016, (MAPA, 2016) (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Teores totais de arsênio, chumbo, cromo, mercúrio e selênio encontrados nas macrófitas aquáticas, determinados pelo método EPA, tolerâncias máximas de contaminantes admitidos em adubos orgânicos e condicionantes do solo segundo MAPA (Instrução Normativa IN SDA nº 7, de 12/04/2016, republicada em 02/05/2016)

Contaminante	Unidade	Mac	Tolerâncias máximas
Arsênio	mg kg ⁻¹	2,2	20,00
Chumbo	mg kg ⁻¹	16,3	150,00
Cromo hexavalente	mg kg ⁻¹	34,6	50,00
Mercúrio	mg kg ⁻¹	< 0,1	1,00
Selênio	mg kg ⁻¹	< 0,1	80,00

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 2. Resultados analíticos das macrófitas aquáticas para nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), carbono orgânico (CO), relação C:N, pH, condutividade elétrica (*CE), umidade (¹Umidade), densidade úmida (²DU), densidade seca (³DS IN17), capacidade de retenção de água (⁴CRA 10, ⁵CRA 10) e capacidade de troca catiônica (⁶CTC, ⁷CTC), segundo MAPA (Instrução normativa Nº 61, 08 de julho de 2020 para análise química de compostos orgânicos)

Amostra	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	CO	C/N
				g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	- mg kg ⁻¹		g kg ⁻¹	
MAC	15,0	1,7	68,0	13,7	1,9	3,7	52,6	61,2	14,5	1,6	78,3	192	12,8
Amostra	pH	*CE	¹ Umidade		² DU		³ DS	⁴ CRA	⁵ CRA 10	⁶ CTC	⁷ CTC		
		dS m ⁻¹	%m m ⁻¹		kg m ⁻³		kg m ⁻³	%v v ⁻¹	%m m ⁻¹	mmol.kg ⁻¹	mmol.dm ⁻³		
MAC	7,2	1,4	57,5		670,0		284,5	69,0	239,3	655,2	439,0		

Fonte: Elaboração do próprio autor.

As macrófitas secas foram transferidas para pequenas composteiras com capacidade para 0,14 m³ localizadas na Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia, UNESP/Campus de Ilha Solteira (SP). Durante o período de permanência nas composteiras o material recebeu 5L de água a cada dois dias, mantendo a umidade do material entre 40 – 60 % do volume, temperatura entre 30° e 45°C, temperatura recomendada para o processo de compostagem/vermicompostagem (SARTORI, 2011). A temperatura foi aferida diariamente, com termômetro digital do tipo espeto (modelo Minipa MV-363, -10 à 200°C).

As doze composteiras foram separadas em 2 grupos, seis delas receberam minhocas da espécie *Eisenia foetida*, de uso comum em estudos de vermicompostagem e por apresentar rápidos crescimento e propagação (DAL BOSCO *et al.*, 2017). Estas foram adicionadas, em quantidade equivalente a 1,0 kg de minhoca por m³ de material preparado (RICCI, 1996), produzindo o vermicomposto e as demais produziram o composto.

O tempo de permanência destes nas composteiras variou em 20, 40 e 60 dias de compostagem. A cada 20 dias, quatro composteiras paravam de receber água, duas com vermicomposto, que foram peneiradas (20 mm) para remoção das minhocas e duas com composto, alguns dias depois, quando secos, foram ensacados e armazenados. Ao final de 60 dias foram produzidos 3 compostos (20, 40 e 60 dias) e 3 vermicompostos (20, 40 e 60 dias).

Na área experimental, antes da incorporação dos compostos ao solo, foi realizada uma gradagem aradora intermediária de disco de 32,5 cm, com a finalidade de romper os torrões do solo e nivelar o terreno, proporcionando uma superfície mais regular ao terreno e adequada ao uso da semeadora, em seguida (dia 17/nov/2020) utilizou-se a enxada rotativa (modelo Stihl FS160 de 16 pás), no dia 28/nov/2020 foi feita nova gradagem (grade intermediária - disco de 32,5 cm) para controle de plantas daninhas e nivelamento do terreno para a sulcação.

Um sulcador adubador (Baldan SAB Séries) com duas linhas foi utilizado para marcar as linhas de cultivo, com espaçamento de 0,5 m entre linhas, onde as sementes de milho foram introduzidas, 3 sementes por metro, na linha de cultivo. Os compostos (COMP) e vermicompostos (VERM) foram introduzidos nas linhas de plantio na dose de 20 t ha⁻¹, equivalente a 18 kg de insumo por parcela experimental.

Para comparação foi estabelecido um tratamento com adubação química (NPK 08-28-16), na quantidade de 0,25 t ha⁻¹ ou 0,225 kg/parcela, seguindo as recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo - Boletim 100 e outro tratamento sem nenhuma adição de adubo orgânico ou mineral (testemunha). Durante o período experimental a irrigação foi realizada diariamente por meio de pivô central, com vazão de 12 mm (12 L/m²) aplicada entre começo da manhã e final de tarde.

O solo da área experimental foi classificado por Dematte (1986), e atualizado segundo o sistema brasileiro de classificação de solo (SANTOS *et al.*, 2018) como Latossolo Vermelho distrófico, de textura argilosa (areia = 505 g kg⁻¹, argila = 432 g kg⁻¹ e silte = 63 g kg⁻¹) determinada pelo método da pipeta (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

A avaliação da fertilidade (Tabela 3) no local de cultivo foi realizada no início do período experimental (dezembro/2020), na profundidade de 0,0 a 0,20 m de acordo com Raij *et al.* (2001).

Tabela 3. Análise de fertilidade antes da incorporação dos compostos ao solo

P-resina mg/dm ³	MO g/dm ³	pH CaCl ²	K ⁺ mmol/dm ³	Ca mmol/dm ³	Mg mmol/dm ³
18	21	5,2	4,2	17	12
Al mmol/dm ³	SB mmol/dm ³	CTC mmol/dm ³	V% %	m %	H+Al mm/dm ³
0	33,2	64,2	52	0	31

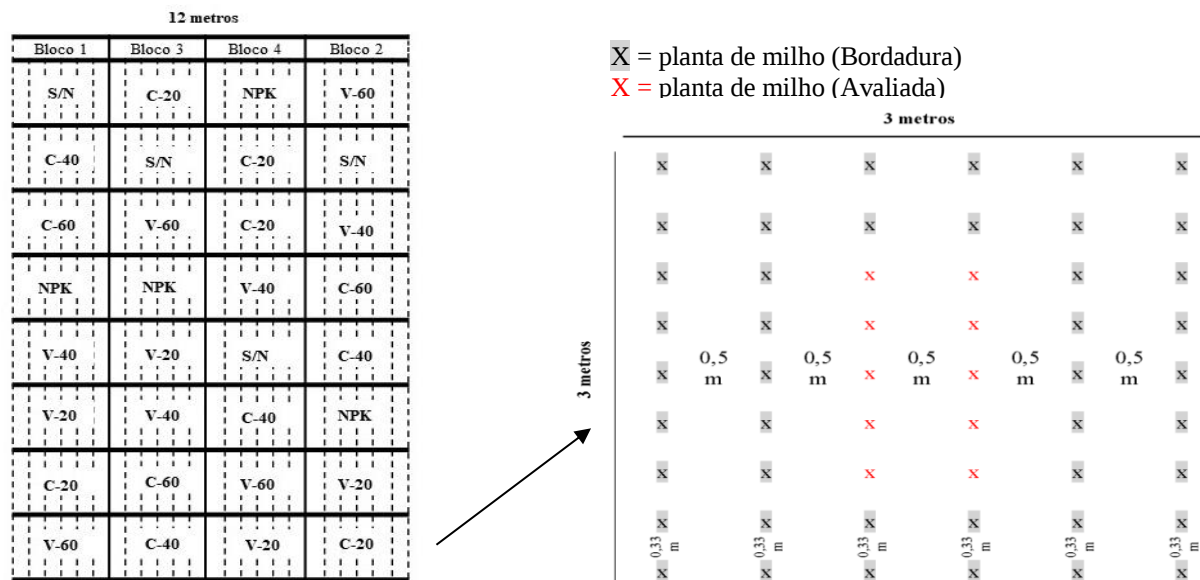
P-resina = Fósforo, MO = Matéria Orgânica, pH = pH, K⁺ = Potássio, Ca = Cálcio, Mg = Magnésio, Al = Alumínio, SB = Soma Bases, CTC = Capacidade de Troca Catiônica, V% = Sat. Bases, m = Sat. Al, H+Al = Ac.Pont.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O experimento foi montado em delineamento em blocos casualizado, com oito tratamentos (Figura 1), sendo três com Composto – 20, 40, 60 ddc, três com Vermicomposto – 20, 40, 60 ddc, um com adubação NPK 08-28-16 e um sem adubação, produzindo quatro blocos, com oito tratamentos e quatro repetições por tratamento, em um total de 32 parcelas experimentais, contendo em cada parcela seis linhas e 9 plantas/linha, das quais foram consideradas para avaliação duas linhas centrais e 5 plantas em cada linha (10 plantas úteis por parcela), obedecendo os limites de bordadura de 2 linhas e 2 metros lineares.

Ao final do período experimental, maio de 2021, foram avaliados o número médio de folhas (NF-contagem direta); comprimento do sistema radicular (CSR-régua graduada); altura da planta (ALT- régua graduada de 3 metros); diâmetro do colmo (DC-paquímetro digital); volume do sistema radicular (VSR-Becker 8L), (TENNANT, 1975); massa fresca (MFSR) e seca (MSSR) do sistema radicular e massa fresca (MFPA) e seca (MSPA) parte aérea; número de espiga por planta (NE/P-contagem direta); altura de inserção da primeira espiga (AIE-régua graduada); comprimento médio de espigas (CME- de madeira); diâmetro médio de espigas (DME-cochincho de madeira); massa de espigas (ME-balança digital); massa de grãos (MG-debulhador de milho manual e balança digital); umidade de grãos (UG-analisador de umidade da marca GEHAKA AGRI modelo G650); Número médio de grãos/fileira (NMGF); Número médio de fileiras/espiga (NMFE); Massa de 1000 grãos (M1000G).

Figura 1. Croqui da área experimental, onde S/N (Sem adubação), C-20 (Composto com 20 dias de compostagem-ddc), C-40 (Composto com 40 ddc), C-60 (Composto com 60 ddc), V-20 (Vermicomposto com 20 ddc), V-40 (Vermicomposto com 40 ddc), V-60 (Composto com 60 ddc), NPK (Adubação química 08-28-16), com 4 repetições em blocos casualizados



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os cálculos da produtividade final do milho em (t/ha) foi realizado como segue:

C20 (t/ha) = (1/900000) x (nº espiga/planta) x (nº planta por parcela) x (número de fileira/espiga) x (número de grãos/fileira) x (massa de 1000 grãos)

$$C20 \text{ (t/ha)} = (1/900000) \times (1) \times (10) \times (16) \times (30) \times (302)$$

$$C20 \text{ (t/ha)} = (1/900000) \times 1449600$$

$$C20 \text{ (t/ha)} = 1/900000 \times 1449600/1$$

$$C20 \text{ (t/ha)} = 1449600/900000$$

$$C20 \text{ (t/ha)} = 1,61 \text{ t/ha.}$$

C40 (t/ha) = (1/900000) x (nº espiga/planta) x (nº planta por parcela) x (número de fileira/espiga) x (número de grãos/fileira) x (massa de 1000 grãos)

$$C40 \text{ (t/ha)} = (1/900000) \times (1) \times (10) \times (18) \times (32) \times (332)$$

$$C40 \text{ (t/ha)} = (1/900000) \times 1912320$$

$$C40 \text{ (t/ha)} = 1/900000 \times 1912320/1$$

$$C40 \text{ (t/ha)} = 1912320/900000$$

$$C40 \text{ (t/ha)} = 2,12 \text{ t/ha.}$$

C60 (t/ha) = (1/900000) x (n° espiga/planta) x (n° planta por parcela) x (número de fileira/espiga) x (número de grãos/fileira) x (massa de 1000 grãos)

$$C60 \text{ (t/ha)} = (1/900000) \times (1) \times (10) \times (18) \times (33) \times (352)$$

$$C60 \text{ (t/ha)} = (1/900000) \times 2090880$$

$$C60 \text{ (t/ha)} = 1/900000 \times 2090880/1$$

$$C60 \text{ (t/ha)} = 2090880/900000$$

$$C60 \text{ (t/ha)} = 2,32 \text{ t/ha.}$$

V20 (t/ha) = (1/900000) x (n° espiga/planta) x (n° planta por parcela) x (número de fileira/espiga) x (número de grãos/fileira) x (massa de 1000 grãos)

$$V20 \text{ (t/ha)} = (1/900000) \times (1) \times (10) \times (18) \times (34) \times (366)$$

$$V20 \text{ (t/ha)} = (1/900000) \times 2239920$$

$$V20 \text{ (t/ha)} = 1/900000 \times 2239920/1$$

$$V20 \text{ (t/ha)} = 2239920/900000$$

$$V20 \text{ (t/ha)} = 2,48 \text{ t/ha.}$$

V40 (t/ha) = (1/900000) x (n° espiga/planta) x (n° planta por parcela) x (número de fileira/espiga) x (número de grãos/fileira) x (massa de 1000 grãos)

$$V40 \text{ (t/ha)} = (1/900000) \times (2) \times (10) \times (18) \times (35) \times (385)$$

$$V40 \text{ (t/ha)} = (1/900000) \times 4851000$$

$$V40 \text{ (t/ha)} = 1/900000 \times 4851000/1$$

$$V40 \text{ (t/ha)} = 4851000/900000$$

$$V40 \text{ (t/ha)} = 5,39 \text{ t/ha.}$$

V60 (t/ha) = (1/900000) x (n° espiga/planta) x (n° planta por parcela) x (número de fileira/espiga) x (número de grãos/fileira) x (massa de 1000 grãos)

$$V60 \text{ (t/ha)} = (1/900000) \times (2) \times (10) \times (18) \times (38) \times (402)$$

$$V60 \text{ (t/ha)} = (1/900000) \times 5499360$$

$$V60 \text{ (t/ha)} = 1/900000 \times 5499360/1$$

$$V60 \text{ (t/ha)} = 5499360/900000$$

$$V60 \text{ (t/ha)} = 6,11 \text{ t/ha.}$$

NPK (t/ha) = (1/900000) x (n° espiga/planta) x (n° planta por parcela) x (número de fileira/espiga) x (número de grãos/fileira) x (massa de 1000 grãos)

$$NPK \text{ (t/ha)} = (1/900000) \times (2) \times (10) \times (18) \times (40) \times (403,2)$$

$$NPK \text{ (t/ha)} = (1/900000) \times 5806080$$

$$NPK \text{ (t/ha)} = 1/900000 \times 5806080/1$$

$$NPK \text{ (t/ha)} = 5806080/900000$$

NPK (t/ha) = 6,45 t/ha.

Solo (t/ha) = (1/900000) x (nº espiga/planta) x (nº planta por parcela) x (número de fileira/espiga) x (número de grãos/fileira) x (massa de 1000 grãos)

Solo (t/ha) = (1/900000) x (1) x (10) x (14) x (30) x (296,7)

Solo (t/ha) = (1/900000) x 1246140

Solo (t/ha) = 1/900000 x 1246140/1

Solo (t/ha) = 1246140/900000

Solo (t/ha) = 1,38 t/ha.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade (Teste de Shapiro-Wilk), seguido da análise de variância (ANOVA) para determinar as diferenças amostrais observadas e desdobramento estatístico e as médias foram comparadas pelo teste de Dunnet utilizando o software R (FERREIRA, 2019).

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização do COMP e do VERM, produzidos a partir dos processos de compostagem e vermicompostagem das macrófitas aquáticas, em diferentes tempos, proporcionou efeitos significativos ($p < 0,05$), ($p < 0,01$) e não significativo ($p \geq 0,05$), para as variáveis analisadas nas diferentes fontes de variação, tipo de compostagem (TIPO), tempo de compostagem (TEMPO) e interações.

Analisando os efeitos da aplicação dos compostos (COMP e VERM) na implantação da cultura do milho, notou-se que o tipo de compostagem influenciou a maioria das variáveis (ALT, DIAM, NF, NEP, CSR, VSR, MFPA, MSPA, MFSR, MSSR, AIE, CME, DME, ME, MG, NMFE, M1000G), com exceção da UG e NMGF (Tabelas 4, 5 e 6), sendo o produto da vermicompostagem (VERM) produzido os melhores resultados para a cultura do milho, segundo Bidone, (2001) no processo de vermicompostagem, as minhocas não aumentam o teor de nutrientes no húmus, mas sim, aumentam sua disponibilidade, que da forma orgânica bruta, encontra-se indisponível para as plantas, e, pós processo, tornam-se solúveis e facilmente assimiláveis pelas raízes na forma mineral. O húmus, através de reações de troca ou mecanismos de quelação, pode reter nutrientes liberados da matéria orgânica, esse fato pode explicar o maior crescimento em altura (ALT) das plantas de milho adubadas com vermicomposto, no qual foram expostas a uma maior concentração de nutrientes mineralizados em suas raízes, por fluxo de massa, difusão ou interceptação radicular.

Assis *et al.*, (2016), avaliando o efeito de diferentes fontes de adubo orgânico sobre a produção de raízes de rabanete, observaram que a massa fresca das raízes foi incrementada com a aplicação do húmus de minhoca, conforme encontrado neste trabalho, onde a MFSR passa de 114,92 g na presença de COMP, para 203, 79 g na presença de VERM, dando destaque ao processo de vermicompostagem das macrófitas aquáticas. O milho apresentou melhor resposta para as variáveis biométricas na presença de VERM, em comparação ao material orgânico fruto da compostagem.

Desse modo, para as variáveis biométricas, a utilização da vermicompostagem melhorou as características químico-físicas do material orgânico, no caso macrófitas aquáticas. Os tempos de compostagem/vermicompostagem (20, 40 e 60 dias) apresentaram diferenças estatísticas para as variáveis DIAM, NF, NEP, CSR, VSR, MFPA, MSPA, MFSR, MSSR, AIE, CME DME ME MG NMGF e M1000G, no qual os compostos com 40 e 60 dias produziram os melhores resultados. Apenas ALT, UG e NMFE não foram influenciados pelo tempo de compostagem, demonstrando que a altura das plantas está diretamente associada ao tempo de mineralização dos compostos orgânicos no solo pelos processos de compostagem, não havendo relação com o tempo de compostagem dos materiais. O resultado para umidade de grãos (UG) pode está associado a fatores genéticos da planta/cultivar e ao tempo de colheita das plantas de milho ao final do ciclo, não havendo qualquer relação com os tipos de compostos adicionados no solo ou ao tempo de decomposição destes. Já o número médio de fileiras por espiga (NMFE) pode ser influenciado pela qualidade do adubo orgânico (Composto ou vermicomposto) e pelo adensamento de semeadura na cultura do milho, já que o aumento do fornecimento de nutrientes para as plantas desencadeia um maior crescimento das espigas de milho e consequentemente o aumento de fileiras e o adensamento de semeadura que também influencia o tamanho das espigas, modificando suas características métricas.

Ainda na (Tabela 4), observa-se então que o menor tempo de decomposição das macrófitas aquáticas (20 dias) não foi suficiente para garantir bom desempenho no crescimento das plantas, de acordo com Kiehl (1998), a maturidade do composto ocorre quando a decomposição microbiológica se completa e a matéria orgânica é transformada em húmus, que, é rico em nutrientes e pode proporcionar melhor crescimento das plantas, o que não ocorreu 20 dias de compostagem, no estudo de Loureiro *et al.*, (2007) no qual foi avaliado a compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares aos 19, 55 e 69 dias de compostagem, o menor tempo de compostagem e vermicompostagem (19 dias) não foi suficiente para garantir a taxa de reprodução de minhocas em quantidades mínimas para produção de húmus, assim como

também foi observado que a compostagem com esterco bovino aos 19 dias não apresentou diminuição de volume de pilha, mudança na cor do material e a textura se manteve.

Ao comparar testemunha e controle (Tabelas 4, 5 e 6), isto é, os tratamentos Solo e NPK é possível perceber que a adubação com NPK apresentou resultados superiores, como já esperado, nas condições em que foi estabelecido o experimento, havendo necessidade de adubação para as variáveis de planta, tanto de parte aérea quanto para sistema radicular, exceto UG, a única variável com resultados semelhantes para Solo e NPK, sem apresentar diferença estatística entre os tratamentos, demonstrando que em função dos valores não significativos para Solo e NPK não há necessidade da adubação química para exercer influência na umidade de grãos (UG) de milho, já que, como mencionado anteriormente, é uma variável sem correlação com o tipo de adubação. Analisando separadamente os tratamentos controle (Solo) e testemunha (NPK) percebe-se claramente que o NPK por se apresentar na forma iônica, seus nutrientes são absorvidos pelas plantas com maior facilidade e o resultado é mais rápido, além disso, esse tipo de adubo apresenta composição química definida, o que resulta em resposta adequadas para as plantas, isso explica a diferença expressiva entre um tratamento sem adubação (Solo) e um tratamento com (NPK).

Tabela 4. Valores médios de altura (ALT), diâmetro (DIAM), número de folhas (NF), número de espigas/planta (NEP), comprimento do sistema radicular (CSR), volume do sistema radicular (VSR) do milho, bem como média geral, coeficiente de variação (CV), valor F, , para as fontes de variação tipo de compostagem (TIPO), tempo de compostagem (TEMPO), tipo de compostagem (TIPO) x tempo de compostagem (TEMPO), tratamento adicional (ADC) x fatorial (FATORIAL), tratamento controle – Solo (ADC 1) x testemunha – NPK (ADC 2) para experimento conduzido com milho em campo

Fontes de variação	ALT cm	DIAM cm	NF unidade	NEP unidade	CSR cm	VSR cm ³
Valor F						
TIPO	29,76**	93,56**	28,56**	34,24**	314,50**	386,94**
TEMPO	2,85 ^{ns}	19,72**	4,00*	8,37**	38,80**	48,59**
TIPO x TEMPO	0,11 ^{ns}	3,19 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,66 ^{ns}	1,10 ^{ns}	4,38*
FATORIAL	7,14**	27,88**	7,40**	10,46**	78,86**	98,58**
ADC x FATORIAL	0,05 ^{ns}	9,79**	1,67 ^{ns}	1,29 ^{ns}	6,47*	106,29**
Controle x Testemunha	48,32**	231,99**	43,82**	73,69**	549,04**	757,13**
TRAT	12,01**	54,45**	11,78**	18,18**	135,69**	193,76**
Média Geral	257	36	15	2	32	143
CV (%)	5	2	2	7	2	7
TIPO						
COMP	243,56B	34,50B	14,63B	1,99B	29,17B	95,17B
VERM	269,67A	36,78A	15,26A	2,34A	34,93A	170,45A
TEMPO						
20	248,78A	34,61B	14,71B	2,00B	30,33C	112,21C
40	258,81A	35,98A	15,06A	2,21A	32,00B	128,43B
60	262,25A	36,33A	15,06A	2,29A	33,83A	157,79A
TRAT ADC						
Controle - Solo	228,88B	33,27B	14,42B	1,65B	26,29B	81,08B
Testemunha - NPK	286,50A	39,50A	15,77A	2,55A	39,47A	263,45A

^{ns}, * e ** valores não significativos, significativos a 5 e 1 % respectivamente, médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância ($p \geq 0,05$) pelos testes F e Tukey, para as fontes de variação TIPO, TEMPO e TRAT ADC, respectivamente.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A altura de inserção de espiga (AIE) do milho (Tabela 5), foi maior (97,31 cm) nos tratamentos que receberam vermicomposto, em detrimento dos tratamentos que receberam composto (89,25 cm), Carvalho *et al.*, (2004) encontraram valores de 1,06 a 1,16 m para altura de inserção da primeira espiga utilizando adubo verde (feijão guandu e crotalária), valores superiores aos observados neste trabalho, porém alturas variando de 0,90 – 1,00 m foram consideradas normais para cultivares de milho precoce, de acordo com Soares *et al.*, (2021).

Os resultados para AIE na presença de VERM podem ser então atribuídos ao húmus produzido pelas minhocas, como também relatado por Orrico Júnior *et al.*, (2012), ao observarem que o bom desempenho no crescimento vegetativo das plantas de sorgo forrageiro, no qual o resultado estava diretamente ligado a aplicação de produto da vermicompostagem, o que foi atribuído ao húmus produzido pelas minhocas e adições ocorridas via trato digestivo e bactérias intestinais, que contribuíram para que o húmus produzido se torne ainda mais rico nutricionalmente e pela taxa de conversão de material orgânico para forma mineral ser maior no processo de vermicompostagem, tornando os nutrientes prontamente disponíveis para as plantas em menor tempo e em maiores concentrações em relação a compostagem (VIONE; NATALE 2018).

Tabela 5. Valores médios de massa fresca (MFPA) de seca (MSPA) da parte aérea, massa fresca (MFSR) e massa seca (MSSR) do sistema radicular), altura de inserção da 1° espiga (AIE) e comprimento médio de espiga (CME) do milho, média geral, coeficiente de variação (CV), e valor F, para as fontes de variação tipo de compostagem (TIPO), tempo de compostagem (TEMPO), TIPO x TEMPO, tratamento adicional (ADC) x fatorial (FATORIAL), tratamento controle – Solo (ADC 1) x testemunha – NPK (ADC 2) para experimento conduzido com milho em campo

Fontes de variação	MFPA	MSPA	MFSR	MSSR	AIE	CME
	g			cm		
	Valor F					
TIPO	530,75**	426,28**	532,92**	642,27**	36,54**	55,47**
TEMPO	51,51**	21,01**	73,63**	81,03**	4,79*	9,40**
TIPO x TEMPO	32,18**	19,15**	0,24 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,83 ^{ns}
FATORIAL	139,63**	101,32**	136,13**	161,15**	9,28**	15,18**
ADC x FATORIAL	22,48**	0,01 ^{ns}	68,52**	74,61**	3,09 ^{ns}	5,72*
Controle x Testemunha	578,34**	317,59**	986,40**	1126,27**	31,06**	171,96**
TRAT	185,57**	117,74**	247,94**	286,66**	11,50**	36,23**
Média Geral	580	523	167	114	93	17
CV (%)	1	2	6	7	4	3
TIPO						
COMP	549,93B	483,99B	114,92B	63,59B	89,25B	15,81B
VERM	616,56A	561,88A	203,79A	150,57A	97,31A	17,58A
TEMPO						
20	564,18C	511,20B	131,58C	81,25C	90,37B	16,03B
40	585,66B	517,80B	157,77B	105,30B	94,50A	16,77A
60	599,90A	539,80A	188,72A	134,67A	94,96A	17,29A
TRAT ADC						
Controle - Solo	509,30B	465,08B	86,52B	36,97B	84,50B	14,57A
Testemunha - NPK	629,77A	581,51A	295,92A	236,47A	97,37A	19,96A

^{ns}, * e ** valores não significativos, significativos a 5 e 1 % respectivamente, médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância ($p \geq 0,05$) pelos testes F e Tukey, para as fontes de variação TIPO, TEMPO e TRAT ADC, respectivamente.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os tratamentos que utilizaram diferentes tipos de compostos orgânicos (COMP e VERM) apresentaram diferença estatística para DME, ME, MG, NMFE e M1000G, com exceção de UG e NMGF que não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos, os resultados demonstram (Tabela 6) que os melhores valores foram expressos nos tratamentos que utilizaram vermicomposto em suas parcelas experimentais com 60 dias com vermicompostagem. O comprimento médio de espiga (CME), muito pouco contribui para a definição da produção de milho quando o número de espigas presentes na área é pequeno e com baixa população de plantas por parcela experimental (10 plantas úteis/parcela). Entretanto,

verifica-se, que, em programas de melhoramento de milho visando ao aumento de massa de grãos, deve-se considerar o tamanho da espiga, pois o tamanho atua indiretamente para o aumento da massa de grãos (FANCELLI; DOURADO-NETO, 2019). Isso explica os resultados (Tabela 5) para comprimento médio de espigas (CME), no qual teve menor crescimento nos tratamentos com composto (COMP) e, conseqüentemente obteve-se menor massa de grãos (MG), (Tabela 6), corroborando autores que afirmam que são duas variáveis produtivas diretamente ligadas.

Os diferentes tempos de compostagem apresentaram diferença estatística para DME, ME, MG e M1000G no qual os tratamentos que utilizaram os vermicompostos com maior tempo de compostagem (60 dias) demonstraram superioridade nos seus resultados estatísticos, indicando que o tempo de compostagem pode atuar como fator limitante à conversão nutricional das plantas para o enchimento de grãos de milho, ocasionando, em caso de adubação com compostos imaturos e com baixa estabilidade, menor ME, MG e M1000G. Resultados obtidos por Ohland *et al.*, (2005) trabalhando com adubação verde (ervilhaca e nabo forrageiro) obtiveram diferença significativa em comparativo aos tratamentos sem adubação orgânica para a característica DME, alcançando valores de 5,02 cm, resultado inferior aos encontrados neste trabalho, no qual as plantas apresentaram DME de até 7 cm. O trabalho não apresentou diferença estatística entre os tempos de compostagem para UG, NMFE, NMGF, da mesma forma Kappes *et al.*, (2013) para as variáveis, NMFE e NMGF, utilizando adubação orgânica e doses de N em cobertura, não observaram diferença estatística entre os tratamentos, o que leva a inferir que esta variável está mais ligada as características genéticas da cultivar do que a práticas de manejo no campo.

Na interação (TIPO x TEMPO), houve diferença estatística apenas para ME e M1000G, as demais fontes de variação não apresentaram diferença para essa interação. Já na interação entre o tratamento controle (Solo) e a testemunha (NPK), todas as fontes de variação com exceção da UG% (Tabela 6) apresentaram diferença entre seus tratamentos a nível de 1% de probabilidade estatística, demonstrando que a adubação com NPK promoveu incremento linear de nutrientes no solo, convergindo em DME superior a 7 cm, ME superior a 380 gramas, MG = 263 gramas e M1000G superior a 400 gramas.

Tabela 6. Valores médios de diâmetro médio de espigas (DME), massa de espigas (ME), massa de grãos (MG), umidade de grãos (UG), número médio de fileiras/espiga (NMFE), número médio de grãos/fileira (NMGF), massa de 1000 grãos (M1000G), bem como média geral, coeficiente de variação (CV), valor F, para as fontes de variação tipo de compostagem (TIPO), tempo de compostagem (TEMPO), TIPO x TEMPO, tratamento adicional (ADC) x fatorial (FATORIAL), tratamento controle – Solo (ADC 1) x testemunha – NPK (ADC 2) para experimento conduzido com milho em campo

Fontes de variação	DME cm	ME g	MG g	UG %	NMFE unidade	NMGF unidade	M1000G g
	Valor F						
TIPO	45,86**	347,50**	747,30**	0,01 ^{ns}	123,32**	2,66 ^{ns}	324,06**
TEMPO	4,12*	62,30**	135,53**	1,80 ^{ns}	0,39 ^{ns}	7,28**	59,43**
TIPO x TEMPO	0,42 ^{ns}	3,88*	0,15 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,12 ^{ns}	4,25*
FATORIAL	10,99**	95,97**	203,73**	1,02 ^{ns}	25,10**	3,49*	90,29**
ADC x FATORIAL	8,85**	212,76**	786,68**	0,02 ^{ns}	8,55**	0,08 ^{ns}	11,06**
Controle x Testemunha	176,64**	51,75**	49,18**	0,30 ^{ns}	392,16**	38,28**	308,42**
TRAT	34,35**	106,34**	264,93**	0,78 ^{ns}	75,17**	7,97**	110,13**
Média Geral	16	326	214	27	17	35	361
CV (%)	3	2	2	0,72	2	3	2
TIPO							
COMP	4,85B	284,42B	169,15B	26,95A	16,20B	34,56A	330,66B
VERM	5,95A	344,53A	223,39A	26,94A	17,60A	35,35A	386,43A
TEMPO							
20	5,16B	292,07C	175,01C	27,05A	16,95A	33,79B	338,30C
40	5,33B	315,22B	199,10B	26,90A	16,93A	35,05A	357,70B
60	5,71A	336,13A	214,71A	26,88A	16,82A	36,05A	379,64A
TRAT ADC							
Controle - Solo	4,02B	341,42B	239,87B	26,97A	15,10B	32,50B	321,74B
Testemunha - NPK	7,75A	381,60A	263,97A	26,90A	19,45A	37,70A	415,96A

^{ns}, * e ** valores não significativos, significativos a 5 e 1 % respectivamente, médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância ($p \geq 0,05$) pelos testes F e Tukey, para as fontes de variação TIPO, TEMPO e TRAT ADC, respectivamente.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

No desdobramento TIPO x TEMPO, (Tabela 7), verifica-se resultados significativos para VSR, MFPA, MSPA, ME e MG1000G. O desdobramento revela melhor resposta destas variáveis à presença de VERM, e nos maiores tempos de compostagem (60 dias), observa-se na mesma tabela que apenas a MFPA não há interferência do tempo de compostagem, indicando que a MFPA está ligada a disponibilidade de N encontrado nos adubos, sem sofrer interferência dos tempos de compostagem. O nitrogênio é o constituinte essencial dos aminoácidos, principais integrantes de proteínas, atua na divisão celular e na produção de clorofila nas plantas (STACCIARINI *et al.*, 2010). Assim, o aumento da MFPA das plantas parece estar relacionado

ao conteúdo de N contido no vermicomposto, ocasionando maior concentração de clorofila nas folhas e consequentemente ocasionando maior crescimento de parte aérea das plantas, já que a clorofila é responsável por captar a luz e garantir que as plantas de milho consigam produzir seu alimento por meio do processo da fotossíntese.

Ao observar o resultado quando a compostagem é realizada sem a presença de minhocas, verifica-se que o tempo de compostagem com melhores resultados também são os maiores (60 dias), no trabalho de Silva, (2019) no qual avaliou o efeito de corretivos orgânicos de resíduos de vinícola e biochar em diferentes tempos de compostagem na cultura do alface verificou que os corretivos orgânicos com 12 semanas de compostagem apresentaram maior estabilidade, sem fitotoxicidade e maior disponibilidade de nutrientes, interferindo diretamente no peso fresco e seco da cultura hortícola.

Na avaliação da interação (TIPO x TEMPO) apenas a MFPA e MSPA apresentaram diferença estatística nos tratamentos a nível de 1% de probabilidade, na avaliação das parcelas experimentais, os tratamentos não apresentaram diferença estatística para MFSR, MSSR, AIE, CME. Na interação entre o tratamento controle (Solo) e a testemunha (NPK) os tratamentos apresentaram diferença estatística a nível de 1% de probabilidade para todas as fontes de variação (MFPA, MSPA, MFSR, MSSR, AIE, CME). No desdobramento entre os tipos de compostos orgânicos e o tempo de compostagem de cada material (TIPO x TEMPO), a MFPA e a MSPA das plantas de milho apresentaram diferença estatística entre os tratamentos (Tabela 7), sendo observados valores superiores na presença de VERM para 20, 40 e 60 dias de vermicompostagem.

No desdobramento entre os tipos de compostos alternativos e os diferentes tempos de compostagem, houve diferença estatística para os diferentes tipos de compostos orgânicos e os diferentes tempos de compostagem dos materiais na análise de ME e M1000G (Tabela 7), no qual os tratamentos que demonstraram um maior aumento da massa das espigas das plantas de milho assim como a massa de mil grãos foram aqueles que receberam vermicomposto com 60 dias de decomposição nas suas parcelas experimentais.

Tabela 7. Valores médios para volume do sistema radicular (VSR), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa de espigas (ME) e massa de 1000 grãos (M1000G), para a cultura do milho, no desdobramento da interação tipo de compostagem (TIPO) x tempo de compostagem (TEMPO), bem como *p*-valor

TIPO	TEMPO (dias)			<i>p</i> -valor
	20	40	60	
VSR (cm³)				
COMP	81,01bB	91,71bB	112,81aB	0,0003
VERM	143,41bA	165,16bA	202,77aA	0,0001
<i>p</i> -valor	0,0001	0,0001	0,0001	
MFPA (g)				
COMP	517,75bB	550,37bB	581,67aB	0,0001
VERM	610,62aA	620,95aA	618,12aA	0,1282
<i>p</i> -valor	0,0001	0,0001	0,0001	
MSPA (g)				
COMP	463,92bB	470,69bB	517,37aB	0,0001
VERM	558,49aA	564,90aA	562,24aA	0,6224
<i>p</i> -valor	0,0001	0,0001	0,0001	
ME (g)				
COMP	255,75bB	287,42bB	310,10aB	0,0001
VERM	328,40bA	343,02aA	362,17aA	0,0001
<i>p</i> -valor	0,0001	0,0001	0,0001	
M1000G (g)				
COMP	304,13bB	332,00bB	355,86aB	0,0001
VERM	372,47bA	383,39bA	403,42aA	0,0001
<i>p</i> -valor	0,0001	0,0001	0,0001	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância ($p \geq 0,05$) pelos testes Tukey e F, respectivamente.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A comparação das médias dos tratamentos, por meio do teste de Dunnett, com a testemunha (Solo) e com o controle (NPK), mostram (Tabelas 8, 9 e 10) que DIAM, NF, CSR, VSR, DME, UG, NMFE e NMGF não diferem nem da testemunha Solo e nem do controle NPK, esta situação indica que para essas variáveis não há diferenças entre o Solo e os tratamentos que receberam NPK, COMP ou VERM.

Todas as fontes de variação MFPA, MSPA, MFSR, MSSR, AIE, com exceção do CME das plantas de milho apresentaram diferença estatística entre os tratamentos em comparação ao tratamento controle (Solo) e testemunha (NPK), (Tabela 9), pelo teste de Dunnett ([#]), com adubação química e nas parcelas experimentais que não foi realizada adubação orgânica, resultado similar aos encontrados por Sampaio *et al.*, (2007) em que demonstra que a adição da massa seca de macrófita aquática decomposta *Egeria densa* ao solo causou grande incremento nas quantidades de nutrientes e na biomassa da parte aérea e do sistema radicular

das plantas de milho, já no primeiro plantio. Em baixa dosagem, equivalente a 10 mg/há⁻¹, a biomassa mais que dobrou em relação à da testemunha.

Tabela 8. Valores médios de altura (ALT), diâmetro (DIAM), número de folhas (NF), número de espigas/planta (NEP), comprimento do sistema radicular (CSR), volume do sistema radicular (VSR) para os tratamentos com NPK, composto (COMP) e vermicomposto (VERM) nos diferentes tempos de compostagem (TEMPO = 20, 40 e 60 dias) e Solo, *p*-valor e coeficiente de variação (CV)

Fontes de variação		ALT	DIAM	NF	NEP	CSR	VSR
		cm	cm	uni dade	uni dade	cm	%
Tipo	Tempo						
NPK		286,50	39,51	15,78	2,55	39,48	15,78
COMP	20	237,30	# 33,89 # ^o	14,40 # ^o	1,78	27,13 # ^o	14,40 # ^o
	40	245,00	# 34,60 # ^o	14,70 # ^o	2,05	29,20 # ^o	14,70 # ^o
	60	248,38	# 35,01 # ^o	14,80 # ^o	2,15	31,21 # ^o	14,80 # ^o
VERM	20	254,88	35,60 # ^o	14,88 # ^o	2,23	33,54 # ^o	14,88 # ^o
	40	281,88	° 37,98 # ^o	15,53 # ^o	2,38	34,80 # ^o	15,53 # ^o
	60	275,38	° 37,42 # ^o	15,38 # ^o	2,44	36,47 # ^o	15,38 # ^o
Solo		228,88	33,27	14,43	1,65	26,30	14,43
<i>p</i> -valor							
Tratamentos		0,0001	0,001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
CV (%)		5	2	2	7	2	7
DMS		23,63	1,17	0,58	0,30	1,60	1,17

Médias seguidas de ° e # na coluna, não diferem do tratamento controle (Solo) e testemunha (NPK), respectivamente pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 9. Valores médios de massa fresca (MFPA) e seca (MSPA) da parte aérea, massa fresca (MFSR) e seca (MSSR) do sistema radicular, altura de inserção da 1ª espiga (AIE) e comprimento médio de espiga (CME) para os tratamentos com NPK, composto (COMP) e vermicomposto (VERM) nos diferentes tempos de compostagem (TEMPO = 20, 40 e 60 dias) e Solo, *p*-valor e coeficiente de variação (CV)

Fontes de variação		MFPA	MSPA	MFSR	AIE	CME
		g			cm	
Tipo	Tempo					
NPK		629,78	581,51	295,93	97,38	19,96
COMP	20	517,75	463,92	88,66	85,88	14,97
	40	550,37	470,69	113,58	90,63	15,88 #°
	60	581,67	517,37	142,55	91,25	16,60 #°
	20	610,62	558,49	174,50	96,38	17,10 #°
	40	620,95	564,90	201,98	98,38	17,67 #°
	60	618,13	562,24	234,90	98,38	17,98 #°
Solo		509,30	465,08	86,53	84,50	14,58
<i>p</i> -valor						
Tratamentos		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
CV (%)		1	2	6	4	3
DMS		14,28	18,62	19,00	6,58	1,17

Médias seguidas de ° e # na coluna, não diferem do tratamento controle (Solo) e testemunha (NPK), respectivamente pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Houve diferença estatística para as fontes de variação ME, MG, M1000G nos tratamentos com composto e vermicomposto com 20, 40 e 60 dias de compostagem (Tabela 10) em comparativo ao tratamento adicional pelo teste de Dunnett (#°), com adubação química com NPK e nas parcelas experimentais que não foi realizada adubação orgânica, diferentemente de DME, UG, NMFE, NMGF, que não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos em comparativo ao tratamento controle (Solo) e a testemunha (NPK), demonstrando que, mesmo que não seja realizada a adubação química na área de cultivo de milho ou adubação orgânica com compostos oriundos de compostagem da macrófita aquática, os resultados para DME, UG, NMFE, NMGF, mais um indicativo que as características de espigas estão, em sua grande parte, ligadas a fatores genéticos da cultivar do que a forma de manejo e adubação da área experimental.

Tabela 10. Valores médios de diâmetro médio de espigas (DME), massa de espigas (ME), massa de grãos (MG), umidade de grãos (UG), número médio de fileiras/espiga (NMFE), número médio de grãos/fileira (NMGF), massa de 1000 grãos (M1000G) para os tratamentos NPK, composto (COMP) e vermicomposto (VERM) nos diferentes tempos de compostagem (TEMPO = 20, 40 e 60 dias) e Solo, *p*-valor e coeficiente de variação (CV)

Fontes de variação		DME	ME	MG	UG	NM FE	NM GF	M1000 G
		cm	g	g	%	unidade		g
Tipo	Tempo							
NPK		17,75	381,60	263,97	26,90	19,45	37,70	415,06
COMP	20	15,78 # ^c	225,75	147,82	27,13 # ^o	16,35 # ^o	33,30 # ^o	304,13
	40	15,93 # ^c	287,43	172,67	26,90 # ^o	16,05 # ^o	34,83 # ^o	332,01
	60	16,16 # ^c	310,10	186,97	26,84 # ^o	16,20 # ^o	35,57 # ^o	355,86
VERM	20	15,78 # ^c	328,40	202,20	26,99 # ^o	17,55 # ^o	34,27 # ^o	372,47
	40	15,93 # ^c	343,03	225,52	26,91 # ^o	17,60 # ^o	35,27 # ^o	383,40
	60	16,16 # ^c	362,18	242,46	26,94 # ^o	17,68 # ^o	36,52 # ^o	403,42
Solo		14,03	341,43	239,87	26,98	15,10	32,50	321,74
<i>p</i> -valor								
Tratamentos		0,001	0,001	0,0001	0,617	0,001	0,001	0,0001
CV (%)		3	2	2	0,72	2	3	2
DMS		0,80	15,92	9,79	0,35	0,62	0,62	15,29

Médias seguidas de ^o e # na coluna, não diferem do tratamento controle (Solo) e testemunha (NPK), respectivamente pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A produtividade do milho na área experimental proporcionou resultados que mostram (Tabela 11) a importância da vermicompostagem, e permite recomendar seu uso em substituição à adubação mineral, além desta ação representar uma boa possibilidade de dispor de modo útil da biomassa das macrófitas aquáticas.

Tabela 11. Produtividade do Milho (t/ha) nos diferentes tratamentos conduzidos a campo neste trabalho

Adubos	Tempo (dias)		
	20	40	60
COMP	1,61	2,12	2,32
VERM	2,48	5,39	6,11
Solo	1,38	-	-
NPK	6,45	-	-

COMP=macrófitas compostadas; VERM=macrófitas vermicompostadas; Solo=tratamento controle; NPK-testemunha.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

5.4. CONCLUSÃO

Após o cultivo do milho, o uso de composto/vermicomposto produzidos a partir de macrófitas aquáticas, proporcionaram aumento da fertilidade do solo, analisando-se os resultados de crescimento das plantas. O processo de vermicompostagem das macrófitas aquáticas garantiu melhores resultados para as variáveis biométricas da cultura. A produção do milho, na presença de vermicomposto, superou 6 t/ha, e obteve produção semelhante ao tratamento testemunha com NPK.

5.5. REFERÊNCIAS

ALVARES, C. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ASSIS, F. B. *et al.* Caracterização agrônômica e 43 bromatológica de híbridos de milho para ensilagem. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 6, p. 2869-2882, 2016.

BALASUBRAMANIAN, D. *et al.* Effect of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) mulch on soil microbial properties in lowland rainfed rice-based agricultural system in Northeast India. **Agricultural Research**, New Delhi, v. 2, p. 246–257, 2013.

BINI, L. M. *et al.* Patterns of the aquatic macrophyte cover in Cachoeira Dourada Reservoir (GO-MG). **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 65, p. 19- 24, 2015. BIDONE, F. R. A. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização**. Brasília, DF: FINEP, 2001. 216 p.

BRAGA, M. F. S. Estudo de recifes artificiais como atratores de peixes no reservatório de Volta Grande, Rio Grande (MG-SP). **Acta Limnológica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 14, n. 2, p. 65-76, 2002.

CARVALHO, C. M. *et al.* Pinhão-mansô: crescimento sob condições diferenciadas de irrigação e de adubação no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, p. 487-496, 2013.

COSTA, J. R. *et al.* Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage managements. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, p. 177-183, 2006.

COSTA, M. S. S. M. **Caracterização dos rejeitos de novilhos superprecoces: reciclagem energética e de nutrientes**. 2005. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

DAL BOSCO, T. C. *et al.* Contextualização teórica: compostagem e vermicompostagem. In: DAL BOSCO, T. C. **Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas**. São Paulo: Blucher, 2017. Cap. 1, p. 19 - 43.

SOUZA, J. N. *et al.* Macrophytes as source of nutrients on initial growth of sunflower plants. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Curitiba, v. 16, n. 2, p. 109-116, 2021.

DEKA, P. K.; PAUL, S. K.; BORA, H. A. Vermitechnology for economic use and control of water hyacinth. **Pollution Research**, Maharashtra, p. 385-387, 2003.

DONAGEMMA *et al.* Análise granulométrica. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K. TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 95-116.

DUGDALE, T. M.; HUNT, T. D.; CLEMENTS, D. Aquatic weeds in Victoria: Where and why are they a problem, and how are they being controlled?. **Plant Prot**, Bundoora, v. 28, p. 35-41, 2013.

EBELING, A. G.; DOS ANJOS, L. H. C. *et al.* Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 429-439, 2008.

FANCELLI, A.; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. Guaíra: Ciência Agropecuária, 2019. 360 p.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017. 84 p.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

HENRY-SILVA, G. G. **Utilização de macrófitas aquáticas flutuantes (Eichhornia crassipes, Pistia stratiotes e Salvinia molesta) no tratamento de efluentes de piscicultura e possibilidades de aproveitamento da biomassa vegetal**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2011.

KAPPES, C.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Produtividade do milho em condições de diferentes manejos do solo e de doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p.1310-1321, 2013.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem**: maturação e qualidade do composto. Piracicaba: Livro Ceres, 1998.171 p.

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

LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo**: teoria e prática. 2. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2002.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Registros e autorizações**. 2003. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/registros-autorizacoes/>. Acessado em: 22 nov. 2021.

MAPA- Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento do Brasil. **Regulamentos**. 2016. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/2003/L10.831.htm. Acesso em: 22 set. 2021.

MARCONDES, D. A. S. *et al.* Eficiência de fluridone no controle de plantas aquáticas submersas no reservatório de Jupia. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, p. 69-77, 2003.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987. p. 687-695.

NAJAR, I., A. Vermicomposting of aquatic weeds: a quick review. **Plant Science Today**, NewDelhi, v. 4, p. 133-136, 2017.

NATALE, W.; PRADO, R. de M. Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 10, p. 1007-1012, 2018.

OHLAND, R. A. A. *et al.* Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, p. 538-544, 2005.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P. *et al.* Compostagem dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 5, p. 1301-1307, 2012.

POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, V. **Macrófitas aquáticas e perifiton**: aspectos ecológicos e metodológicos. São Carlos: RiMa, 2003. 134 p.

POMPÊO, M. **Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros**. São Paulo: Instituto de Biociências da USP, 2017. V. 1, p. 60–66.

POMPÊO, M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. **Oecologia Brasiliensis**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 406-424, 2008.

PORTUGAL, J. R. *et al.* Organic and mineral fertilizer application in upland rice irrigated by sprinkler irrigation: economic analysis. **Científica**, Jaboticabal, v. 44, n.2, p. 146-155, 2016.

- RAIJ, B. van. *et al.* **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285 p.
- RAIJ, B. van *et al.* **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 212 p.
- RAMOS, L. A. *et al.* Effect of mineral fertilizer and poultry litter waste on sugarcane yield and some plant and soil chemical properties. **African Journal of Agricultural Research**, Sapele, v. 12, p. 20-27, 2017.
- RICCI, M. S. F. **Manual de vermicompostagem**. Porto Velho: EMBRAPA-CPAF, 1996. 23 p. (EMBRAPA-CPAF-Rondônia. Documentos 31).
- RODRIGUES, M. E. F. **Levantamento florístico e distribuição de macrófitas aquáticas na Represa Guarapiranga, São Paulo, Brasil**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- SAITO, B. C.; ANDRADE, J. A. D. C. Potencial de linhagens oriundas de populações de milho braquítico para obtenção de híbridos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 16, p. 120-130, 2017.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; OLIVEIRA, N. M. B. Aproveitamento da macrófita aquática *Egeria densa* Planchon como adubo orgânico. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, p.169-174, 2005.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; OLIVEIRA, N. M. B. O. *et al.* Eficiência da adubação orgânica com esterco bovino e com *Egeria densa*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 995-1002, 2007.
- SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. revisada e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 531 p.
- SARTORI, V. C. *et al.* Adubação verde e compostagem: estratégias de manejo do solo para conservação das águas. **Cartilha para agricultores**. Caxias do Sul: EducS, 2011. Disponível em: <http://www.ucs.br/site/nucleos-pesquisa-e-inovacao-e-desenvolvimento/nucleos-de-inovacao-e-desenvolvimento/agricultura-sustentavel/>. Acesso em: 12 set. 2021.
- SILVA, C. D. da. *et al.* Vermicompostagem de lodo de esgoto urbano e bagaço de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 487 - 491, 2002.
- SILVA, S. P. A. **Efeito de corretivos orgânicos de resíduos vinícolas e biochar, com diferentes tempos de compostagem, na cultura de alface**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Viana do Castelo, 2019.
- SOUZA, F. I. de. *et al.* Agronomic performance of Italian zucchini as a function of phosphate fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 3, p. 206 - 211, 2021.

STACCIARINI, T. C. V. *et al.* Avaliação de caracteres agronômicos da cultura do milho mediante a redução do espaçamento entre linhas e aumento da densidade populacional. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, p. 516-519, 2010.

TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **The Journal of Ecology**, Chichester, v. 63, n. 3, p. 995-1001, 1975.

THOMAZ, S. M.; ESTEVES, F. A. Estudo da biomassa de algumas espécies de macrófitas aquáticas tropicais quanto ao seu valor nutritivo. In: ANAIS SEMINÁRIO REGIONAL ECOLOGIA, 4, 1984, São Carlos. **Anais** [...]. São Carlos: UFSCar, 1984. P.439-67.

TIESSEN, H. J. W. B.; MOIR, J. O. Characterization of available P by sequential extraction. In: CARTER, M. R.; GREGORICH, E. G. **Soil Sampling and Methods of Analysis**. New York: CRC Press, 1993. p. 5-229, 1993.

TURNER, B. L.; MAHIEU, N.; CONDRON, L. M. The phosphorus com position of temperate pasture soils determined by NaOH–EDTA extraction and solution 31P NMR spectroscopy. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 34, n.8, p. 1199, 2003.

VALENTE, B. S. *et al.* Variabilidade na composição química de vermicompostos comerciais. **Revista Verde**, Cataguases, v. 13, n. 4, p. 557-562, 2018.

VARMA, V. S.; PRASAD, R.; DEB, S. *Sudharsan et al.* Effects of aeration during pile composting of water hyacinth operated at agitated, passive and forced aerated condition. **Waste and Biomass Valorization**, Dordrecht, v. 9, n. 8, p. 1339-1347, 2018.

VELINI, E. D. Controle de plantas aquáticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22., Foz do Iguaçu, 2000. **Palestras**[...]. Foz do Iguaçu: SBCPD, 2000. p. 137-147

VERHOFSTAD, M. J. J. M.; BAKKER, E. S. Classifying nuisance submerged vegetation depending on ecosystem services. **Limnology** Tokyo, v. 20, p. 55–68, 2019.

VIONE, E. L. B. *et al.* Caracterização química de compostos e vermicompostos produzidos com casca de arroz e dejetos animais. **Ceres**, Viçosa, v. 65, n. 1, p. 65-73, 2018.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O maior desafio do atual cenário agrícola é tentar equilibra a produtividade das mais variadas culturas de interesse econômico com as formas de manejo quem busquem reduzir potencialmente os impactos no meio ambiente, com finalidade de perpetuar uma agricultura sustentável com diminuição do uso de insumos químicos, assim, a busca por fontes nutricionais que assegurem melhorias na fertilidade dos solos e crescimento das plantas pode surgir como uma alternativa viável para garantir as demandas produtivas das lavouras, podendo assegurar

ao homem uma solução para minimizar a degradação ambiental e possibilitar o uso responsável dos recursos naturais.

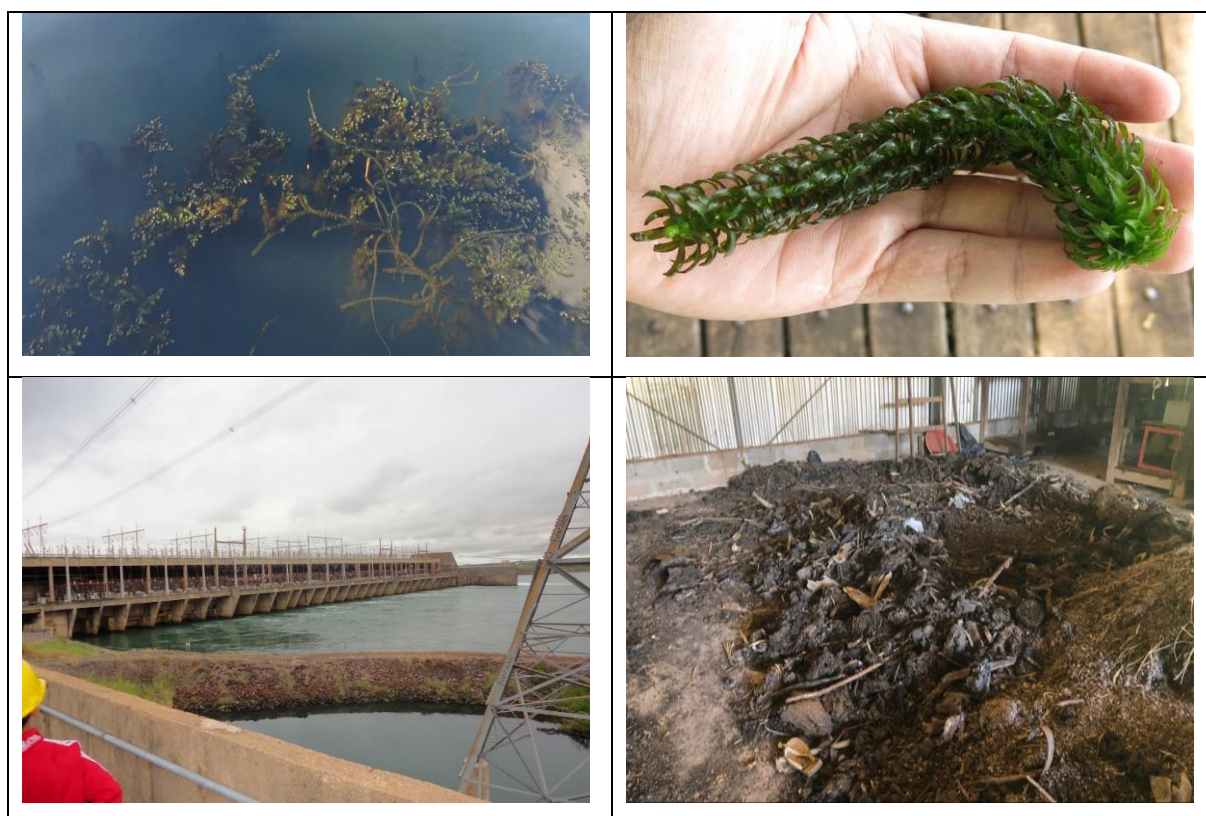
O uso de macrófitas aquáticas submersas surgiu como possibilidade de aproveitamento desses recursos naturais por meio de sua coleta e beneficiamento, que pudesse ser usado como potencial condicionador do solo, ajudando nos ganhos produtivos na cultura do milho e tornando-se fonte alternativa de matéria orgânica. Assim, as macrófitas aquáticas podem proporcionar melhorias na qualidade físico-químicas do solo.

O uso dos compostos orgânicos produzidos a partir da compostagem e vermicompostagem das macrófitas aquáticas submersas, propiciaram incremento para os testes experimentais, podendo ser pontuado que, nos experimento com milho conduzido em casa de vegetação, observa-se não haver necessidade de vermicompostagem para o crescimento inicial de milho em vaso, em comparativo com compostagem, em razão do aumento do custo atrelados a vermidecomposição de macrófitas e por não haver diferença entre os resultados nos diferentes tratamentos.

Para o experimento em campo, a fertilidade do solo não apresentou diferença significativa entre resultados com o uso de compostos e vermicompostos. Contudo, para as avaliações das plantas de milho em campo, o vermicomposto apresentou resultados superiores em relação as variáveis biométricas analisadas, com resultados próximos aos tratamentos que foram submetidos a adubação com NPK, demonstrando que, para os produtores que visam aumento de produtividade em t/ha^{-1} , pode-se pensar no investimento em vermidecompostar macrófitas aquáticas para uso na agricultura, uma vez que esse material orgânico seja amplamente disponibilizado na região, garantindo redução nos custos de produção se comparado a adubação convencional.

APÊNDICES

Apêndice 1 – Imagens das macrófitas aquáticas submersas e flutuantes (*Egeria densa* e *Egeria najas*), na lagoa Flórida no reservatório de Jupia, (SP), utilizadas nos experimentos deste trabalho (a) macrófitas ainda no lago, (b) estrutura morfológica da macrófita aquática *Egeria densa*, (c) reservatório da usina hidrelétrica de Jupia, local de coleta das macrófitas (Três Lagoas – MS), (d) Local de armazenamento das macrófitas, para beneficiamento, após retirada da água



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Apêndice 2. Imagens (a) macrófitas aquáticas recém introduzidas na unidade de compostagem, após beneficiamento (b) Minhocas da espécie *Eisenia foetida* (Vermelha da Califórnia ou minhoca europeia do esterco), de uso comum no Brasil, utilizadas no processo de vermicompostagem, (c) Área experimental, após gradagem para controle de plantas daninhas e nivelamento do terreno, (d) introdução dos compostos/vermicompostos nos sulcos de plantio, (e) sementes de milho (DKB PRO 3) utilizadas nos experimentos, (f) fase final do experimento em campo, (g) sistema radicular das plantas de milho





Fonte: Elaboração do próprio autor.