SCIENTIA PLENA
www.scientiaplena.org.br
VOL. 22, NUM. 10 2026
doi: 10.14808/sci.plena.2026.100201

Características químicas e microbiológicas do solo sob aplicação de vermicomposto e inoculação de fungos micorrízicos arbusculares na produção de mudas de *Spondias tuberosa*

Chemical and microbiological characteristics of soil following the application of vermicompost and inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi in the production of *Spondias tuberosa* seedlings

C. T. Pereira[1]*; M. E. T. Pereira[2]; J. F. Silva Júnior[3]; J. A. Farias Júnior[4]; I. E. C. Escobar[5]; A. L. Freitas[6]; J. R. Lima[7]; V. M. Santos[3]

[1]*Programa de Pós-Graduação em Ciência e Saúde Animal/Laboratório de bioquímica, Universidade Federal de Campina Grande, 58708-110, Patos-PB, Brasil*
[2]*Laboratório de Bioquímica, Universidade Federal de Campina Grande, 58708-110, Patos-PB, Brasil*
[3]*Laboratório de Microbiologia Geral, Universidade Federal de Campina Grande, 58708-110, Patos-PB, Brasil*
[4]*Laboratório de solos e água, Universidade Federal de Campina Grande, 58708-110, Patos-PB, Brasil*
[5]*Faculdade CESPU Europa, 54315-570, Jaboatão dos Guararapes-PE, Brasil*
[6]*Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal Rural de Pernanbuco,* 52171-900*, Recife-PE, Brasil*
[7]*Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Campina Grande, 58708-110, Patos-PB, Brasil*

**camilla.torres.cb@gmail.com*
(Recebido em 02 de agosto de 2025; aceito em 26 de outubro de 2026)

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência da aplicação de vermicomposto, associado ou não a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA), sobre as características químicas e microbiológicas do solo utilizado na produção de mudas de *Spondias tuberosa*. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com delineamento inteiramente casualizado, seis tratamentos (V0, V0+FMA, V25, V25+FMA, V50 e V50+FMA) e seis repetições. Após 120 dias, foram avaliadas as propriedades químicas (pH, P, K^+, Na^+, Ca^{2+}+Mg^{2+}, H^++Al^{3+} e carbono orgânico) e microbiológicas do solo (respiração basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (qCO_2) e microbiano (qMIC), atividade das enzimas β-glicosidase, fosfatase e arilsulfatase e número de glomerosporos). A aplicação de vermicomposto, associada ou não à inoculação com FMA, elevou o pH e os teores de Na, P, Ca+Mg e carbono orgânico do solo, enquanto o teor de K diminuiu. Os maiores valores de CBM e RBS foram observados nos tratamentos com 50% de vermicomposto, com ou sem inoculação com FMA, nas condições avaliadas. O qCO_2 apresentou variações em resposta à aplicação de vermicomposto e o número de glomerosporos não diferiu entre os tratamentos. De modo geral, a aplicação de vermicomposto influenciou a atividade enzimática do solo, com maior atividade da β-glicosidase nos tratamentos inoculados com FMA. As respostas observadas na maior proporção de vermicomposto sugerem a necessidade de estudos com maior duração para avaliar a persistência dessas alterações e definir proporções adequadas de vermicomposto para a produção de mudas de *Spondias tuberosa*.
Palavras-chave: interação planta-microrganismo, agricultura sustentável, saúde do solo.

This study aimed to evaluate the effects of applying vermicompost, either with or without arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation, on the chemical and microbiological properties of soil used for producing *Spondias tuberosa* seedlings. The experiment was conducted in a greenhouse using a completely randomised design with six treatments (V0, V0+AMF, V25, V25+AMF, V50 and V50+AMF) and six replicates. After 120 days, the following soil chemical properties were evaluated: pH, P, K^+, Na^+, Ca^{2+}+Mg^{2+}, H^++Al^{3+} and organic carbon. The following microbiological attributes were also evaluated: basal soil respiration (BSR), microbial biomass carbon (MBC), metabolic (qCO_2) and microbial (qMIC) quotients, β-glucosidase, phosphatase and arylsulfatase activities, and the number of glomerospores. Vermicompost application, with or without AMF inoculation, increased soil pH, as well as the contents of Na, P, Ca^{2+}+Mg^{2+} and organic carbon, whereas K content decreased. The highest MBC and BSR values were observed in treatments containing 50% vermicompost, regardless of AMF inoculation. qCO_2 varied in response to vermicompost application, whereas the number of glomerospores did not differ among treatments. Overall, vermicompost application altered soil enzyme activities, with higher β-glucosidase activity observed in AMF-inoculated treatments. The responses observed at the highest vermicompost proportion suggest that longer-term studies are needed to assess the persistence of these changes and to determine the most suitable proportion of vermicompost for *Spondias tuberosa* seedling production.
Keywords: plant-microorganism interaction, sustainable agriculture, soil health.

1. INTRODUÇÃO

A expansão de áreas degradadas no semiárido tem aumentado o interesse na utilização de práticas sustentáveis para produção de alimentos e para redução do uso de agroquímicos [1]. A utilização de substratos orgânicos ricos em macro e micronutrientes tem sido amplamente adotada para melhorar a fertilidade do solo, a relação solo-planta e estimular o desenvolvimento de mudas de diversas espécies. Entre os substratos orgânicos disponíveis, destaca-se o vermicomposto, obtido pela compostagem de resíduos orgânicos por meio da ação das minhocas [2].

O vermicomposto é considerado fertilizante orgânico de elevada qualidade capaz de contribuir para a melhoria da fertilidade do solo e favorecer o desenvolvimento vegetal. Estudos demonstraram que a sua aplicação pode contribuir para aumentar o crescimento e a biomassa de plantas [3], além de promover mudanças na estrutura da comunidade microbiana do solo, em virtude da alta disponibilidade de nutrientes e diversidade microrganismos presentes [4, 5]. A aplicação de vermicomposto também pode estimular a atividade microbiana e favorecer a mineralização da matéria orgânica, contribuindo para ciclagem de nutrientes. Além disso, a liberação gradual de nutrientes pode favorecer sua absorção pelas plantas [6].

De modo semelhante, a aplicação de micro-organismos benéficos tem demonstrado efeitos positivos bem documentados no crescimento vegetal e na atividade microbiana do solo. Dentre os principais grupos de microrganismos utilizados como biofertilizantes, estão os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) que formam associações simbióticas mutualísticas com as raízes da maioria das plantas [7]. Nessa associação micorrízica, a planta fornece fotossintatos para os FMA que, em contrapartida, contribuem para absorção de água e nutrientes do solo, especialmente fósforo (P) [8-10]. A aplicação de compostos orgânicos também pode modificar a atividade e diversidade de FMA no solo, o que pode favorecer o crescimento e contribuir para a sanidade vegetal.

Os efeitos da aplicação de vermicomposto e da inoculação de FMA sobre a composição e a atividade das comunidades microbianas do solo ainda não são completamente elucidados. Além disso, são escassos os trabalhos que abordam o modo como a biomassa e a atividade microbiana respondem às mudanças ocorridas no solo em função da adição desses insumos. Dessa forma, é importante compreender as respostas dos atributos microbiológicos dos solos sob aplicação de vermicomposto, associado ou não à inoculação com FMA, uma vez que esses indicadores podem ajudar a entender as mudanças no ciclo de nutrientes e fornecer informações sobre a qualidade dos solos [11].

Entre as espécies arbóreas nativas da Caatinga, *Spondias tuberosa* Arruda, popularmente conhecida como umbuzeiro ou imbuzeiro, tem importância ambiental e socioeconômica para as famílias do semiárido nordestino [12]. A adaptação às condições climáticas da região e a utilização de seus frutos na alimentação e na geração de renda reforçam sua relevância para as comunidades locais [13, 14].

Poucos estudos foram realizados buscando otimizar a produção de mudas de umbuzeiro, embora essas mudas possam ser utilizadas na formação de pomares, sistemas agroflorestais e na recuperação de áreas degradadas [12, 15]. A utilização de substratos orgânicos, como vermicomposto, e a inoculação com insumos biológicos, como os FMA, podem favorecer a relação solo-planta e estimular o desenvolvimento de mudas de diversas espécies, constituindo uma alternativa para a produção de mudas de umbuzeiro.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da aplicação de vermicomposto, associada ou não à inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA), sobre as características químicas e microbiológicas do solo utilizado na produção de mudas de *Spondias tuberosa*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Montagem e delineamento do experimento

Neste estudo, o umbuzeiro (*S. tuberosa*) foi usado como material vegetal. A preparação das mudas ocorreu a partir de sementes cedidas pelo Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental

(NEMA) da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). As sementes foram semeadas em copos plásticos (200 ml), contendo areia lavada e autoclavada (121º C/1 hora). Após a germinação, plântulas com duas folhas foram usadas no experimento. O solo (textura média a argilosa) para montagem do experimento foi coletado na profundidade de 0-20 cm em um sistema agroflorestal na comunidade São Francisco, município de Teixeira, Paraíba. Após a coleta, o solo foi seco ao ar e passado em peneira com abertura de 2 mm. As características químicas do solo são apresentadas na Tabela 1.

O vermicomposto utilizado no experimento foi produzido a partir de esterco bovino, por meio do processo de vermicompostagem com a minhoca vermelha da Califórnia (*Eisenia foetida*), sendo um produto comercial da empresa Solo Santo®. A caracterização química do material (Tabela 1) foi realizada pelo Laboratório de Análises de Solo e Produtos Agrícolas (Soloagri) LTDA., localizado em Petrolina, PE. A humificação foi confirmada pela relação C/N de 7:1. Após a aquisição, o vermicomposto foi homogeneizado, seco ao ar, peneirado e armazenado por aproximadamente 30 dias até sua utilização. Os inóculos de *Acaulospora longula* (UFPE-006) e *Fuscutata heterogama* (UFPE-007), utilizados no experimento, foram obtidos da coleção do Laboratório de Micorrizas da Universidade Federal de Pernambuco (URM-FMA), em Recife, PE. Após a incorporação do vermicomposto ao solo nas doses preestabelecidas, os tratamentos foram umedecidos e mantidos em repouso por 24 horas antes do plantio das mudas.

Tabela 1: Características químicas do solo e do vermicomposto utilizado na produção de mudas de Umbuzeiro.

Parâmetro	**Solo**	**Vermicomposto**
pH	6,2 ($CaCl_2$)	6,6 (H_2O)
Matéria Orgânica (g kg^{-1})	23,76	149,5
Carbono Orgânico (g kg^{-1})	13,84	86,7
Umidade (%)	—	5,2
Relação C/N	—	7:1
H+Al (cmolc dm^{-3})	720	—
Ca+Mg (mg/kg)	608	—
Nitrogênio (N) (g/kg)	—	12,5
Fósforo (P) (mg dm^{-3})	10,0	3,89 (g kg^{-1})
Potássio (K) (cmolc dm^{-3})	3,05	6,00(g kg^{-1})
Cálcio (Ca) (cmolc dm^{-3})	—	23,3(g kg^{-1})
Magnésio (Mg) (cmolc dm^{-3})	—	14,4 (g kg^{-1})
Sódio (Na) (cmolc dm^{-3})	1,15	0,41(g kg^{-1})
Boro (B) (mg kg^{-1})	—	17
Cobre (Cu) (mg kg^{-1})	—	50
Ferro (Fe) (mg kg^{-1})	—	15.920
Manganês (Mn) (mg kg^{-1})	—	607
Zinco (Zn) (mg kg^{-1})	—	160

Valores determinados em amostra seca em estufa (60-65 °C), conforme procedimento de preparo de amostras para análise de fertilizantes orgânicos descritos no manual do MAPA [16].

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, os tratamentos foram três doses de vermicomposto (0, 25 e 50%), dois tratamentos de inoculação micorrízica (com inoculação e sem inoculação). Após a mistura do solo com as quantidades adequadas de vermicomposto, o material foi acondicionado em sacos de polietileno de 2kg. Em seguida, as plantas foram transferidas para os sacos e realizou-se a inoculação com solo-inóculo, contendo aproximadamente 200 esporos, sendo 100 de *A. longula* e 100 de *F. heterogama*. O inóculo de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) foi aplicado diretamente na região das raízes das mudas, conforme procedimento semelhante ao descrito por Monte Júnior et al. (2025) [17]. Por outro lado, os tratamentos sem FMA receberam solo-inóculo autoclavado e 10 ml de filtrado, isento de propágulos de FMA, obtido por meio da suspensão de solo-inóculo de FMA em água destilada autoclavada (1:10). A suspensão foi agitada e mantida em repouso por 10 minutos; em seguida, foi filtrada utilizando

uma peneira de 45 μm. Essa etapa foi realizada com o objetivo de reincorporar a microbiota presente no solo-inóculo.

As plantas foram mantidas em casa de vegetação por 120 dias regadas com água deionizada e mantidas em condições de luz natural. Decorridos o período de cultivo, as plantas foram colhidas e as amostras de solo coletadas, sendo parte armazenada a temperatura ambiente e outra parte a 4 °C até a realização das análises microbiológicas do solo. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Viveiro Florestal da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal (UAEF) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no município de Patos, Paraíba. De acordo com a classificação de Köppen, o clima do local é do tipo Bsh [18], caracterizado por altas temperaturas e irregularidade pluviométrica. A temperatura média anual é de 30 °C [18].

2.2 Avaliações do experimento

2.2.1 Propriedades químicas do solo

O pH do solo foi determinado em solução solo: $CaCl_2$ (1:2,5) [19]. A acidez potencial ($H+Al^{3+}$) foi mensurada após extração com acetato de cálcio [20]. O fósforo, o sódio e o potássio (P, Na, K^+) foram extraídos com solução Mehlich I, sendo o P quantificado por espectrofotometria, o Na e K^+ por fotometria de chama [17]. O cálcio e o magnésio (Ca^{2+}+ Mg^{2+}) foram extraídos com cloreto de potássio (KCl 1N) e quantificados por titulometria [19, 21]. O carbono orgânico do solo foi mensurado por oxidação do carbono por via úmida (WALKLEY-BLACK), conforme Tedesco et al. (1995) [22]. As análises foram realizadas no Laboratório de Solos e Água da Universidade Federal de Campina Grande (*Campus* Patos).

2.2.2 Propriedades microbiológicas

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi estimado pelo método de fumigação-extração [23]. O C extraído das amostras fumigadas e não fumigadas foi convertido em carbono microbiano, aplicando-se um fator de correção (Kc) de 0,38. A respiração basal do solo (RBS) foi mensurada pela quantificação do CO_2 liberado durante sete dias de incubação do solo em sistema fechado [24]. A quantidade de CO_2 produzida na RBS foi capturada em solução de NaOH e posteriormente titulada com HCl [24]. O quociente metabólico do solo ou qCO_2 (RBS/CBM) foi calculado de acordo com a proposta de Anderson e Domsch (1985) [25]. As avaliações foram realizadas no laboratório de Microbiologia Geral da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Campina Grande (*Campus* Patos).

A atividade das enzimas envolvidas nos ciclos do carbono, fósforo e enxofre foram medidas usando métodos colorimétricos. As atividades da β-glicosidase [26], fosfatase [27] e arilsulfatase [28] foram determinadas pela liberação do p-nitrofenol após incubação do solo com os substratos específicos (*p*-nitrofenol-β-D-glicopiranosídeo e *p*-nitrofenil fosfato, *p*-nitrofenil sulfato respectivamente) realizadas no Laboratório de Micorrízas da UFPE.

2.2.3 Número de glomerosporos

A extração dos esporos foi realizada a partir de alíquotas de 50 g de solo, segundo as técnicas de peneiramento úmido [29] e centrifugação em água e sacarose [30]. Os glomerosporos foram quantificados, separados por morfotipos com auxílio de estereomicroscópio (40x). A avaliação do número de esporos foi realizada no laboratório de Parasitologia Veterinária da UFCG, *Campus* de Patos.

2.3 Análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$), utilizando o software SISVAR 5.6 (Build 92) [31].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso de vermicomposto, associado ou não a inoculação com FMA influenciou significativamente as propriedades químicas do solo, exceto a acidez potencial (H+Al) (Tabela 2). O pH do solo aumentou nos tratamentos com vermicomposto em comparação àqueles sem aplicação (V0 e V0+FMA). Entretanto, não foram observadas diferenças entre os tratamentos que receberam vermicomposto, independentemente da inoculação com FMA. Esse resultado sugere que a adição de vermicomposto exerceu efeito semelhante sobre o pH nas proporções avaliadas. Köninger et al. (2021) [32] também relataram a estabilização do pH após a aplicação de fertilizante orgânico à base de esterco, associando essa característica, ao aporte de nutrientes, a relação com a biodiversidade qualidade do solo.

A aplicação de vermicomposto aumentou o teor de P no solo de acordo com a dose utilizada, independentemente da inoculação com FMA (Tabela 2). O aumento da disponibilidade de P no solo, resultante da aplicação de compostos orgânicos, pode inibir a colonização micorrízica, devido à menor demanda da planta pela associação simbiótica [33]. Ao avaliar os efeitos de diferentes substratos na formação de mudas de biribazeiro (*Rollinia mucosa*), Lima et al. (2020) [34] observaram maiores teores de fósforo (P) no humus produzido por minhocas.

Os resultados demonstraram aumento do teor de carbono orgânico do solo (COS) com o incremento da proporção de vermicomposto. O tratamento V50+FMA resultou no maior teor de COS, seguido pelo V50, ambos superiores aos demais tratamentos (Tabela 2). O COS constitui um dos principais componentes da matéria orgânica e representa uma fonte de energia para os microrganismos do solo [35]. Além disso, o seu acúmulo pode aumentar a disponibilidade de outros nutrientes e a formação de agregados, com efeitos na estrutura física do solo.

Os solos tratados com os tratamentos V50 e V50+FMA apresentaram menor teor de K e aumento do Na nessas condições (Tabela 2). A substituição parcial do K por Na requer cautela, pois o Na, ao ocupar os sítios da CTC (capacidade de troca de cátions) do solo, pode favorecer processos de salinização do solo [36]. Desse modo, é necessário monitoramento contínuo da salinidade e da relação Na/K, a fim de evitar impactos negativos ao solo.

Adicionalmente, o vermicomposto promoveu aumento nos teores de Ca+Mg, em comparação com os tratamentos sem a sua aplicação, nutrientes essenciais ao desenvolvimento e crescimento das plantas, exercendo funções importantes nos mecanismos de defesas contra estresse abiótico e doenças nas plantas [37, 38]. Nas condições experimentais, destaca-se que as alterações nas propriedades químicas analisadas são mais pronunciadas à medida que aumenta a proporção de vermicomposto. Ainda assim, a presença de FMA pode atuar na disponibilidade dos nutrientes para plantas e em aspectos biológicos do solo. Desse modo, a aplicação do vermicomposto e FMA requer a análise dos processos biológicos envolvidos, considerando múltiplos fatores que vão além dos aspectos químicos tradicionais [39].

Tabela 2: Características químicas do solo usado na produção das mudas de umbuzeiro (Spondias tuberosa), em substratos de cada tratamento.

Tratamentos	Características Químicas						
	pH	P	K	Na	Ca+Mg	H+AL	COS
	$CaCl_2$	mg/dm^3	----------	$cmol_c/dm^3$	----------		$g\ kg^{-1}$
V0	6,56 b	12,51 c	3,10 a	4,50 b	2,84 d	9,00 b	15,93 d
V0+FMA	6,60 b	12,76 c	2,96 a	4,00 b	2,90 d	9,00 b	16,83 d
V25	6,92 a	24,81b	3,08 a	8,80 b	6,96 c	9,00 b	30,45 c
V25+FMA	6,80 a	25,87 b	2,32 a	5,80 b	7,24 c	9,20 a	31,45 c
V50	6,92 a	40,29 a	1,88 b	33,00 a	10,00 a	9,60 a	46,28 b
V50+FMA	6,90 a	41,83 a	1,88 b	37,00 a	9,50 b	9,20 a	52,37 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5%. V0 = sem vermicomposto e FMAs; V0+FMA = sem vermicomposto com FMAs; V25 = com 25% de vermicomposto; V25+FMA = com 25% de vermicomposto e FMAs; V50 = com 50% de vermicomposto; V50+FMA = com 50% de vermicomposto e FMAs.

No presente estudo, os resultados mostraram que a adição V50, seguido por V25 e V50+ FMA aumentaram os teores de CBM (Tabela 3). O aumento do CBM do solo tem sido relatado quando há aumento de disponibilidade de substrato (entradas de C e N) no solo e/ou mudanças na estrutura e composição da comunidade microbiana [40]. Além disso, a mudança na relação C/N do solo devido à adição de vermicomposto torna as condições favoráveis para o crescimento microbiano [41].

Considerando a RBS, maior atividade respiratória foi registrada com a aplicação de V50+FMA, seguida da dose V50 (Tabela 3). Corroborando com os resultados obtidos de carbono orgânico do solo (COS). De acordo com Trombetta et al. (2020) [42], maior teor de COS proporciona a atividade dos microrganismos no solo. Além disso, a adição de vermicomposto promove a entrada de microrganismos no solo que estão envolvidos na ciclagem de nutrientes [43], o que pode aumentar a taxa respiratória. Além disso, pode ativar os microrganismos dormentes, o que pode contribuir para a comunidade microbiana, causando alteração na estrutura microbiana.

No estudo realizado com porta-enxerto de umbuzeiro, os substratos formulados com proporções de húmus combinados com Plantmax® (composto à base de matéria orgânica de origem vegetal e vermiculita expandida) e com areia promoveram maior disponibilidade de fósforo (P), cálcio (Ca) e melhorias nas propriedades biológicas do solo, como o carbono da biomassa microbiana (CBM) e a respiração basal do solo (RBS) [44]. Esses resultados corroboram com os dados obtidos nesta pesquisa.

Observou-se que o qCO_2 foi significativamente maior nos tratamentos V50+FMA, seguido por V50, V25 e V25+FMA em comparação os tratamentos sem vermicomposto. O qCO_2 fornece informações sobre a demanda energética da comunidade microbiana para manter suas funções vitais [45]. De acordo com Anderson e Domsch (1990) [46], alterações nas condições edáficas podem aumentar a demanda energética dos microrganismos. No presente estudo, a elevação do qCO_2 nos tratamentos com vermicomposto e FMA pode indicar maior exigência metabólica da comunidade microbiana, em resposta às mudanças induzidas pela adição de matéria orgânica e pela presença dos FMA, refletindo possíveis processos de adaptação ou estresse fisiológico frente às novas condições do solo [5]. Levando em consideração o número de esporos, não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3 – Características biológicas do solo usado para produção das mudas de umbuzeiro (Spondias tuberosa).

	Características Biológicas			
Tratamentos	**RBS**	**CBM**	**qCO_2**	**Nº de esporos**
V0	48,01 d	149,01 c	0,32 c	395 a
V0+FMA	46,23 d	136,22 c	0,34 c	402 a
V25	74,76 c	132,46 c	0,57 b	394 a
V25+FMA	92,65 c	192,47 b	0,49 b	273 a
V50	142,65 b	244,47 a	0,59 b	357 a
V50+FMA	168,40 a	173,61 b	0,98 a	324 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5%. V0 = sem vermicomposto e FMAs; V0+FMA = sem vermicomposto com FMAs; V25 = com 25% de vermicomposto; V25+FMA = com 25% de vermicomposto e FMAs; V50 = com 50% de vermicomposto; V50+FMA = com 50% de vermicomposto e FMAs. RBS= respiração basal do solo (C-CO_2 mg Kg^{-1} de solo), CBM= carbono da biomassa microbiana (mg kg^{-1} de solo) qCO_2= quociente metabólico (mg CO_2 mg^{-1} CBM dia^{-1}).

Os tratamentos influenciaram as respostas das enzimas (Figura 1). A aplicação isolada ou associada de vermicomposto e fungos micorrízicos arbusculares (FMA) promoveu aumento significativo da atividade da fosfatase em comparação ao tratamento V0 ($p < 0,05$). Margalef et al. (2017) [47], em estudo que avaliou a atividade das fosfatases no solo, identificaram a matéria orgânica como um dos principais fatores determinantes da atividade dessa classe de enzimas. No

presente estudo, os tratamentos com maiores teores de carbono orgânico do solo (COS) também apresentaram maior atividade da fosfatase.

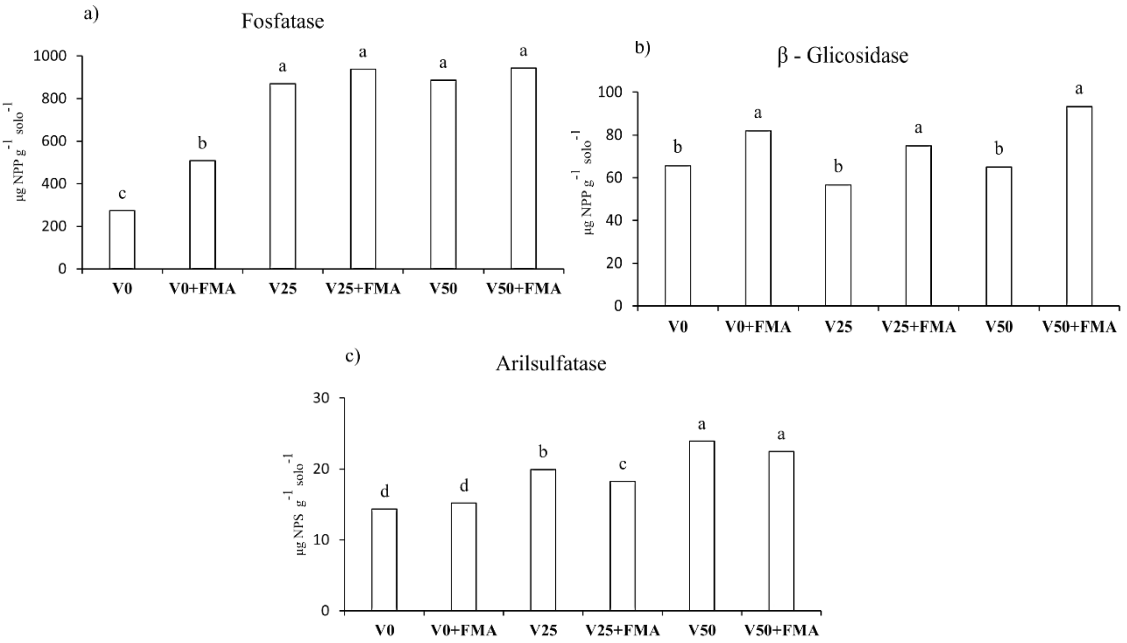


Figura 1: Atividade das enzimas fosfatase, β-glicosidase e arilsulfatase no solo usado na produção de mudas de Umbuzeiro (Spondias tuberosa). Médias seguidas de mesma letra nas barras não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5%. V0 = sem vermicomposto e FMAs; V0+FMA = sem vermicomposto com FMAs; V25 = com 25% de vermicomposto; V25+FMA = com 25% de vermicomposto e FMAs; V50 = com 50% de vermicomposto; V50+FMA = com 50% de vermicomposto e FMAs.

Para β-glicosidase, enzima associada ao ciclo do carbono, ocorreu aumento da atividade nos tratamentos com aplicação FMA com e sem vermicomposto, a utilização apenas de vermicomposto diminuiu a atividade dessa enzima a níveis similares aos do tratamento V0 (Figura 1b). O aumento da atividade da β-glicosidase na presença de FMA pode ser atribuído ao estímulo da rizosfera na dinâmica microbiana e na disponibilidade de substratos, favorecida pela interação simbiótica. Os FMA podem estimular a produção e exsudatos e o crescimento de raízes finas fornecendo carbono solúvel que serve de substrato para a atividade da enzima. Em contraste, o vermicomposto isoladamente, pode ter fornecido matéria orgânica mais estabilizada [3] ou parcialmente degradada, reduzindo a necessidade de produção de β-glicosidase pelos microrganismos.

A maior atividade da arilsulfatase foi observada nos tratamentos V50 e V50+FMA em comparação aos demais. A enzima participa da mineralização do enxofre orgânico, e sua atividade pode ser influenciada pela adição de matéria orgânica ao solo. Segundo Mendes et al. (2019) [48], a atividade enzimática total resulta da ação de organismos vivos e das enzimas estabilizadas na matriz do solo. Assim, a maior atividade nos tratamentos com vermicomposto pode estar relacionada às alterações nas condições do solo após sua aplicação. Embora a arilsulfatase participe da ciclagem do enxofre, não foram realizadas determinações da disponibilidade desse nutriente para as plantas.

As enzimas do solo desempenham papel fundamental na degradação da matéria orgânica do solo e na ciclagem de nutrientes, sendo determinantes para a manutenção da fertilidade do solo [49]. De modo geral, a expressão enzimática está relacionada com a quantidade e qualidade da matéria orgânica disponível, bem como à demanda de nutrientes pela biomassa microbiana [50]. Nesse contexto, a avaliação da atividade enzimática constitui uma ferramenta muito relevante para acompanhar a dinâmica dos nutrientes e avaliar a contribuição de bioinsumos para a qualidade do solo.

4. CONCLUSÃO

A aplicação de vermicomposto, associada ou não a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) constitui uma alternativa para a composição de substratos destinados à produção de mudas de *S. tuberosa*, considerando os efeitos observados nas características químicas e microbiológicas, especialmente na atividade da enzima β-glicosidase. Entretanto, o uso de doses elevadas de vermicomposto, isoladamente ou em associação com FMA, requer investigações adicionais, com períodos de avaliação mais longos e em condições de viveiro, para compreender a persistência dessas alterações e estabelecer proporções adequadas à produção de mudas da espécie.

5. AGRADECIMENTOS

Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental (Nema/Univasf) por toda contribuição neste estudo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arashiro LT, Montero N, Ferrer I, Acién FG, Gómez C, Garfí M. Life cycle assessment of high rate algal ponds for wastewater treatment and resource recovery. Sci Total Environ. 2018 may;622(1):1118-30. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.051
2. Prisa D. Biostimulant based on liquid earthworm humus for improvement quality of basil (*Ocimum basilicum* L.). GSC Biol Pharm Sci. 2019 Dec;9(3):020-5. doi: 10.30574/gscbps.2019.9.3.0219
3. Vyas P, Sharma S, Gupta J. Vermicomposting with microbial amendment: implications for bioremediation of industrial and agricultural waste. BioTechnol. 2022 Jun;103(2):203-15. doi: 10.5114/bta.2022.116213
4. Pathma J, Sakthivel N. Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. SpringerPlus. 2012 Oct;1(1):1-19. doi: 10.1186/2193-1801-1-26
5. Liu M, Wang C, Liu X, Lu Y, Wang, Y. Saline-alkali soil applied with vermicompost and humic acid fertilizer improved macroaggregate microstructure to enhance salt leaching and inhibit nitrogen losses. Appl Soil Ecol. 2020 Dec;156(1):103705. doi: 10.1016/j.apsoil.2020.103705
6. Sena LM, Arruda JF, Silva CFR, Almeida FBB, Brito POB, Gondim FA. Compostagem e vermicompostagem como alternativa para tratamento e de destinação de resíduos orgânicos. Rev Verde Agroecol Desenvolv Sustent. 2019 jun;14(2):266-72. doi: 10.18378/rvads.v14i2.6136
7. Smith S, Read D. Mycorrhizal symbiosis. 3. ed. San Diego (US): Academic Press; 2008.
8. Padrón-Rodríguez L, Arias-Mota RM, Medel-Ortíz R, La Cruz-Elizondo D. Interacción de hongos micorrízicos arbusculares y una cepa fosfato solubilizadora en Canavalia ensiformis (Fabaceae). Bot Sci. 2020 Jun;98(2):278-87. doi: 10.17129/botsci.2476
9. Gois LS, Mendonça JJ, Teixeira JL, Oliveira PCM, Holanda FSR, Marino RH. Fungos micorrízicos arbusculares exóticos e endofíticos "Dark Septate" nativos no crescimento inicial de *Paspalum millegrana*. Rev Caatinga. 2019 set;32(3):607-15. doi: 10.1590/1983-21252019v32n305rc
10. Bennett AE, Meek HC. The influence of arbuscular mycorrhizal fungi on plant reproduction. J Chem Ecol. 2020 Aug;46(8):707-21. doi: 10.1007/s10886-020-01192-4
11. Kuzyakov Y, Blagodatskaya E. Microbial hotspots and hot moments in soil: concept & review. Soil Biol Biochem. 2015 Apr;83(1):184-99. doi: 10.1016/j.soilbio.2015.01.025
12. Cruz FRS, Andrade LA, Feitosa RC. Produção de mudas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) em diferentes substratos e tamanho de recipientes. Ciênc Florest. 2016 mar;26(1):69-80. doi: 10.5902/1980509821092
13. Mertens J, Germer J, Siqueira JA, Sauerborn J. *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae), a threatened tree of the Brazilian Caatinga?. Braz J Biol. 2016 Sep;77(1):542-52. doi: 10.1590/1519-6984.18715
14. Ferreira CD, Alencar FTM, Souto PC, Alencar LS, Borges CHA. Soil organic carbon in a topo sequence in the semiarid of Paraíba, Brazil. Res Soc Dev. 2020 Sep;9(5):e164953365. doi: 10.33448/rsd-v9i5.3365
15. Menezes PHS, Souza AA, Silva ES, Medeiros RD, Barbosa NC, Soria DG. Influence of the maturation stage on the physical-chemical quality of fruits of umbu (*Spondias tuberosa*). Sci Agropecu. 2017 Mar;8(1): 73-8. doi: 10.17268/sci.agropecu.2017.01.07

16. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos. Brasília (DF): MAPA; 2017. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/manual-de-metodos_2017_isbn-978-85-7991-109-5.pdf.
17. Monte Junior IP, Assis DMA, Silva DKA, Maia LC, Yano-Melo AM. Combined inoculation of ancestral and derived lineages of arbuscular mycorrhizal fungal species promotes better development of *Passiflora foetida* L. seedlings. Sci Hortic. 2025;345:114139. doi: 10.1016/j.scienta.2025.114139
18. Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Golçalves JLM, Sparovek G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorol Z. 2014 Jan;22(6):711-28. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507
19. Silva FC. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. rev. e ampl. Brasília (DF): Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2009.
20. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. rev. e atual. Brasília (DF): Embrapa-CNPS; 1997.
21. Donagema GK, Campos DB, Calderano SB, Teixeira WG, Viana JM. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro (RJ): Embrapa Solos; 2011.
22. Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Bohnen H, Volkweiss SJ. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre (POA): UFRGS; 1995.
23. Vance ED, Brookes PC, Jenkinson DS. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biol Biochem. 1987 Dec;19(6):703-7. doi: 10.1016/0038-0717(87)90052-6
24. Alef K, Nannpieri P. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. 1. ed. San Diego (US), Londres (GB): Academic Press; 1995.
25. Anderson TH, Domsch KH. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. Biol Fertil. Soils. 1985 Sep;1(2):81-9. doi: 10.1007/BF00255134
26. Eivazi F, Tabatabai MA. Glucosidases and galactosidases in soils. Soil Biol Biochem. 1988 Dec;20(5):601-6. doi: 10.1016/0038-0717(88)90141-1
27. Tabatabai MA, Bremner JM. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. Soil Biol Biochem. 1969 Nov;1(4):301-7. doi: 10.1016/0038-0717(69)90012-1
28. Tabatabai MA. Soil enzymes. In: Weaver RW, Angle S, Bottomley P, Bezdicek D, Smith S, Tabatabai A, et al., editors. Methods of soil analysis: Part 2 Microbiological and biochemical properties. Madison (US): Soil Science Society of America; 1994. p. 775-833.
29. Gerdemann JW, Nicolson TH. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Trans Br Mycol Soc. 1964 Jul;46(2):235-44.
30. Jenkins W. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. Plant Dis Rep. 1964 May;48(9):692.
31. Ferreira DF. Sisvar: A computer statistics analysis system. Ciênc Agrotecnol. 2011 Dec;35(6):1039-42. doi: 10.1590/S1413-70542011000600001
32. Köninger J, Lugato E, Panagos P, Kochupillai M, Orgiazzi A, Briones MJ. Manure management and soil biodiversity: Towards more sustainable food systems in the EUA. Agric Syst. 2021 Dec;194(1):103251. doi: 10.1016/j.agsy.2021.103251
33. Gianinazzi S, Gollotte A, Binet MN, Van TD, Redecker D, Wipf D. Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. Mycorrhiza. 2010 Aug;20(8):519-30. doi: 10.1007/s00572-010-0333-3
34. Lima AFL, Campos MCC, Brito Filho EG, Simoes EL, Cunha JM, Silva DMP, et al. Diferentes substratos na formação de mudas de biribazeiro (*Rollinia mucosa* [Jacq.] Bail) em Humaitá, AM. Sci POlena. 2020 jul;16(7):1-8. doi: 10.14808/sci.plena.2020.070202
35. Wang G, Ren Y, Bai X, Su Y, Han J. Contributions of beneficial microorganisms in soil remediation and quality improvement of medicinal plants. Plants. 2022 Nov;11(23):02-33. doi: 10.3390/plants11233200
36. Guarnieri A, Costa RL, Alexandrino GDC, Rodrigues LU, Freitas GA, Silva RR, et al. Influence of phosphorus sources on the partial replacement of potassium by sodium in the fertilization of Mombasa grass. J Plant Nutr. 2021 Feb;44(15):2274-84. doi: 10.1080/01904167.2021.1889592
37. Senbayram M, Gransee A, Wahle V, Thiel H. Role of magnesium fertilisers in agriculture: plant–soil continuum. Crop Pasture Sci. 2015 Dec;66(12):1219-29. doi: 10.1071/CP15104
38. Thor K. Calcium—nutrient and messenger. Front Plant Sci. 2019 Apr;10(1):440. doi: 10.3389/fpls.2019.00440
39. Rocha AFB, Siquieroli ACS, Silva ADA, Carneiro AMDL, Vasconcelos BNF, Gondim DDR. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroecológicos no Cerrado Mineiro. Soc Nat. 2022 fev;34(1):1-14. doi: 10.14393/SN-v34-2022-62940

40. Bottrill D, Ogbourne SM, Citerne N, Smith T, Farrar MB, Hu HW, et al. Short-term application of mulch, roundup and organic herbicides did not affect soil microbial biomass or bacterial and fungal diversity. Chemosphere. 2020 Dec;244(1):125436. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.125436
41. Griffiths BS, Spilles A, Bonkowski M. C:N:P stoichiometry and nutrient limitation of the soil microbial biomass in a grazed grassland site under experimental P limitation or excess. Ecol Process. 2012 Jun;1(6):1-11. doi: 10.1186/2192-1709-1-6
42. Trombetta LJ, Turchetto R, Rosa GM, Volpi GB, Barros S, Silva VR. Resíduos orgânicos e suas implicações com o carbono orgânico e microbiota do solo e seus potenciais poderes poluentes. Braz J Dev. 2020 Jul;6(7):43996-4005. doi: 10.34117/bjdv6n7-134
43. Prisa D. Chabatitic zeolites with earthworm humus added to the growing media to improve germination and growth of horticultural plants. Int J Sci Res Multidiscip Stud. 2020 May;6(5):24-31.
44. Medeiros EVD, Notaro KDA, Souza BMD, Silva AO, Duda GP, Silva MMD. População microbiana, disponibilidade de nutrientes e crescimento de umbuzeiro em substratos contendo resíduos orgânicos. Rev Caatinga. 2015 set;28(3):47-53. doi: 10.1590/1983-21252015v28n305rc
45. Anderson TH, Domsch KH. Soil microbial biomass: the eco-physiological approach. Soil Biol Biochem. 2010 Jul;42(12):2039-43. doi: 10.1016/j.soilbio.2010.06.026
46. Anderson TH, Domsch KH. Application of eco-physiological quotients (qCO2 and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. Soil Biol Biochem. 1990 Dec;22(2):251-5. doi: 10.1016/0038-0717(90)90094-G
47. Margalef O, Sardans J, Fernández-Martínez M, Molowny-Horas R, Janssens IA, Ciais P, et al. Global patterns of phosphatase activity in natural soils. Sci Rep. 2017 May;7(1):1337. doi: 10.1038/s41598-017-01418-8
48. Mendes IC, Sousa DMG, Reis Junior FB, Lopes AAC, Souza LM, Chaer GM. Bioanálise de solo: aspectos teóricos e práticos. In: Severiano EC, Moraes MF, Paula AM, editores. Tópicos em Ciência do Solo. v. 10. Viçosa (MG): Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2019. p. 399-462.
49. Kooch Y, Noghre N. Nutrient cycling and soil-related processes under different land covers of semi-arid rangeland ecosystems in northern Iran. Catena. 2020 Oct;193(1):104621. doi: 10.1016/j.catena.2020.104621
50. Sinsabaugh RL, Belnap J, Rudgers J, Kuske CR, Martinez N, Sandquist D. Soil microbial responses to nitrogen addition in arid ecosystems. Front Microbiol. 2015 Aug;6(1):819. doi: 10.3389/fmicb.2015.00819