

DIFERENTES ROCHAS MOÍDAS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM EM UNAÍ/MG: FERTILIZANTE ORGÂNICO E AUTONOMIA AGRÍCOLA

Different crushed rocks in the composting process in Unaí/MG: organic fertilizer and agricultural autonomy

Diferentes rocas trituradas en el proceso de compostaje en Unaí/MG: abono orgánico y autonomía agrícola

Pedro Höfig¹ 
Éder de Souza Martins² 
Elvio Giasson³ 
Bernardo Santos Arantes⁴ 

RESUMO

A segurança alimentar da população não pode ser garantida apenas com o uso de fertilizantes sintéticos e solúveis em água. Este estudo avaliou o processo e o produto final da compostagem conjunta de resíduos orgânicos com rochas moídas como remineralizadores, utilizando calcaxisto, micaxisto e fonolito. O composto foi produzido a partir de cama de bovino, silagem, casca de café e gesso agrícola. A compostagem foi eficiente em todos os tratamentos, com a fase termofílica caracterizada e ausência de coliformes totais e germinação de plantas espontâneas no produto final. O tratamento com micaxisto apresentou a menor diminuição relativa de potássio entre as matérias-primas originais e o produto final, indicando uma melhor relação entre custo e benefício.

Palavras-chave: Agrominerais; autossuficiência; agricultura sustentável.

ABSTRACT

It is widely recognized that food security for the population cannot be guaranteed by the use of synthetic and water-soluble fertilizers alone. This study aimed to evaluate the process and final product of co-composting organic residues with ground rocks as remineralizers, using calcareous shale, mica schist, and phonolite. Other components used in the compost production were cattle bedding, silage, coffee husk, and agricultural gypsum. Efficient composting occurred in all treatments, as demonstrated by the characterization of the thermophilic phase, absence of total coliforms, and spontaneous plant germination. The mica schist treatment produced the compost with the lowest relative decrease in potassium between the original raw materials and the final product, indicating a more favorable cost-benefit ratio.

Keywords: Agrominerals; self-sufficiency; sustainable agriculture.

¹ Geógrafo pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Mestre em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Doutorando em Ciências Ambientais pela Universidade de Brasília (UnB). **E-mail:** pedro.hofig@ah.agr.br

² Geólogo, Mestre e Doutor em Geologia pela Universidade de Brasília (UnB). Pesquisador A da Embrapa e professor e orientador de Pós-graduação em Geografia e Ciências Ambientais na UnB. **E-mail:** eder.martins@embrapa.br

³ Agrônomo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Mestre em Ciências do Solo pela UFRGS. Doutor em Soil Science pela Cornell University. Professor Titular do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS. **E-mail:** giasson@ufrgs.br

⁴ Engenheiro Agrônomo pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), Campus Uberlândia. **E-mail:** bernardo@agrolibertas.com.br

RESUMEN

Ya se sabe que no es posible garantizar la seguridad alimentaria de la población solo con el uso de fertilizantes sintéticos e hidrosolubles. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el proceso y el producto final del compostaje conjunto de residuos orgánicos con rocas trituradas como remineralizadores, cada tratamiento con un tipo diferente: calco-esquistos, mica-esquistos y fonolita. Los componentes utilizados para la elaboración de la composta fueron yacija bovina, ensilaje, cascarilla de café, yeso agrícola y remineralizadores. Hubo un compostaje eficiente en todos los tratamientos, demostrado por la caracterización de la fase termófila y ausencia de coliformes totales y germinación de plantas espontáneas. El tratamiento con mica-esquistos mostró la menor disminución relativa de potasio entre las materias primas originales y el producto final, lo que generalmente define la mejor relación costo-beneficio.

Palabras-clave: Agrominerales; autosuficiencia; agricultura sostenible.

INTRODUÇÃO

Já se tem o conhecimento de que não é possível garantir a segurança alimentar para a população apenas com o uso de fertilizantes sintéticos e solúveis em água (INYINBOR *et al.*, 2019). Para adquirir tais produtos de fontes finitas (GLIESMANN, 2000; WISTINGHAUSEN *et al.*, 2000) e que apresentam desvantagens em seu comportamento relacionados ao clima tropical e às características intrínsecas ao solo situado nesse clima (LEONARDOS; THEODORO; ASSAD, 2000), o produtor rural usualmente se depara com setores comerciais e produtivos concentrados ou oligopolizados (PERES *et al.*, 2010), transformando-se em um consumidor dependente de insumos agrícolas e serviços técnicos. O desrespeito à regionalidade é um dos problemas que a humanidade tem que combater no que se refere à agricultura e à alimentação. Ao mesmo tempo, a agricultura orgânica, prática ancestral, “evoluiu” para um estranho sistema em que se compram coisas caras e vindas de longe, ao invés de se usar o que é mais barato e está mais próximo (CHO, 2018).

Contudo, movimentos de agricultura alternativos ao convencional, contrapondo-se ao uso abusivo de insumos agrícolas globalizados, da dissipação do conhecimento tradicional e da deterioração da base social de produção de alimentos, têm tido um reconhecimento cada vez maior (ASSIS; ROMEIRO, 2002). A busca por uma agricultura rentável e permanente passa pela valorização das fontes de nutrientes disponíveis regionalmente, o que fornece mais autonomia para o setor rural no tocante à fertilização das culturas. A possibilidade de se mobilizar tais recursos, adequados para condições tropicais e para solos com baixa capacidade de retenção de cátions, é uma premissa para construção de um novo modelo de desenvolvimento rural (FEIDEN, 2001).

A compostagem, técnica ancestral (KOEPEL; PETERSSON; SCHAUMANN, 1983), e a aplicação de rochas moídas como remineralizadores de solo, prática utilizada desde o fim do século XIX (HENSEL, 1898), refletem a ideia de uma agricultura baseada nos ciclos naturais. A aplicação de remineralizadores acelera um processo de rejuvenescimento dos solos que acontece

naturalmente por meio de erupções vulcânicas, movimentos glaciares e depósitos aluvionares (THEODORO, 2020). A compostagem é um procedimento que estimula e direciona o processo de decomposição de materiais orgânicos que ocorre espontaneamente na natureza, mas que, com maior influência das variações dos fatores ambientais, tem sua estabilização protelada (BERTON *et al.*, 2021).

Em muitos casos, rochas silicáticas moídas são misturadas a compostos orgânicos e a liberação dos nutrientes pode ser estimulada por meio de mecanismos físico-biológicos controlados (THEODORO, 2020). Adicionar rochas moídas ao processo de compostagem é uma forma de beneficiamento biológico do produto e, ao mesmo tempo, de aumento de atividade biológica da compostagem. Os microrganismos presentes no composto aceleram, por meio dos ácidos húmicos, a quebra dos compostos químicos presentes, especialmente nos argilominerais, liberando, dessa forma, uma maior porcentagem de nutrientes para as plantas (PINHEIRO, 2021). Ao mesmo tempo, os minerais estimulam a atividade biológica, pois são alimentos para os fungos e bactérias (UROZ *et al.*, 2015). Além disso, é de extrema importância a criação de um vínculo pessoal com o adubo, especialmente com o seu processo de produção (STEINER, 1977, 2017). O homem é dotado de capacidades que quer exercitar. Ele é um ser de participação e criação que quer ser o sujeito de sua história (BOFF, 1995).

Neste sentido, é essencial testar fertilizantes produzidos com a compostagem conjunta de rochas moídas e resíduos orgânicos. Este trabalho objetiva avaliar o processo e o produto final da compostagem conjunta de resíduos orgânicos com rochas moídas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Ouro Verde, zona rural de Unai/MG conhecida como Chapada, mesorregião Noroeste de Minas Gerais, próximo ao Distrito Federal (IBGE, 2019), bioma Cerrado (IBGE, 2012). A área situa-se em clima tropical com estação seca no inverno, classificado por Köppen como Aw (AYOADE, 2003). A altitude média é de 870 metros, com predominância de relevo suave ondulado (declividade entre 3 a 8%) (RAMALHO-FILHO; BEEK, 1995). As classes de solos predominantes são Latossolo Vermelho, Latossolo Amarelo e Plintossolo Pétricos (HÖFIG; GIASSON, 2015).

Foram realizados três tratamentos de compostagem, dos quais diferenciaram-se entre si apenas os agrominerais, sendo eles calcixisto, micaxisto e fonolito. Os demais componentes utilizados para a produção do composto foram cama de bovino, silagem, casca de café e gesso agrícola (Tabela 1). Como inoculante foi utilizada a Solução de Microrganismos JADAM (CHO,

2018). A cama de bovino era constituída de capim Napier triturado e dejetos de bovinos, produtos disponíveis dentro da fazenda, tendo sido produzida pela adição de 5 kg de cama seca por dia de confinamento por animal, visando a retenção total dos excrementos (KHATOUNIAN, 2001). Os bovinos ficaram por 90 dias expelindo seus resíduos sobre este material.

As leiras de composto foram montadas de forma a terem 35 metros de comprimento, altura entre 1,2 e 1,5 metros e largura entre 1,8 a 2 metros. Nestas foram misturados 1.411 kg de cama de bovino/m de leira, 1.347 kg de casca de café por metro de leira, 218 kg de silagem de milho/m de leira, 166 kg de gesso/m de leira e 735 kg de rocha moída/m de leira.

Tabela 1 - Materiais utilizados nos tratamentos de compostagem e suas participações percentuais no composto com base no peso seco.

Tratamento 1		Tratamento 2		Tratamento 3	
Material	Percentual no composto	Material	Percentual no composto	Material	Percentual no composto
Cama de bovino	35	Cama de bovino	35	Cama de bovino	35
Casca de café	30	Casca de café	30	Casca de café	30
Silagem	5	Silagem	5	Silagem	5
Gesso	5	Gesso	5	Gesso	5
Calcixisto	25	Micaxisto	25	Fonolito	25

Fonte: Os autores (2023).

O calcixisto é um agromineral silicático do Grupo Canastra, extraído em Luziânia, Goiás, registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) como remineralizador de solos com número GO-09345.10001-1. Este material apresenta soma total de bases na forma de óxidos ($\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O}$) em torno de 23 %, e 2,7% de K_2O , 44% de SiO_2 , 7,5% de MgO e 13,5% de CaO . A mineralogia é composta por 40% de carbonatos e 60% na forma de silicatos, principalmente muscovita, biotita, clorita e quartzo.

O micaxisto, por ter mais de 25% de quartzo em sua composição, está registrado no MAPA como material secundário, sob número GO-00664, com garantia de composição mínima de 4% de K_2O , 57% de SiO_2 , 3,7% de MgO e 1,1% de CaO . A mineralogia do material aponta cerca de 26% de muscovita, 15% de oligoclásio, 12% de biotita, 11% de clorita clinoclóro, 1,76% de albita, 0,88% de microlínio, 0,8% de ilmenita e 0,64% de magnetita.

O fonolito é uma rocha alcalina de origem vulcânica (TEIXEIRA *et al.*, 2012). A mineralogia do produto utilizado aponta a existência de microclínio, muscovita, caulinita e gibbsita, e a análise apontou 11,3% de K_2O e 19,9% de Si. O material está registrado no MAPA como fertilizante mineral simples, sob o N.º.: MG 001151-7.00002.

Todas as matérias primas foram analisadas separadamente em laboratório antes do início do processo de compostagem e, considerando a proporção de cada um no produto, encontrou-se a relação C:N inicial de 40 do conjunto de materiais a serem compostados (Tabela 2). Foram registradas diariamente as temperaturas das leiras, a umidade e o cheiro, bem como as atividades realizadas para manutenção da aeração e do umedecimento. A temperatura foi medida em três pontos de cada leira com termômetro digital tipo espeto, a uma profundidade de 30 cm, e a umidade do composto foi avaliada pelo tato (PENTEADO, 2010).

Tabela 2 - Relação C:N, densidade e teores de nutrientes totais das matérias primas utilizadas na compostagem. Legenda: LQ (limite de quantificação).

Parâmetro	LQ	Incerteza	Cama de bovino	Silagem	Casca de café	Calcixisto	Mi ca xis to	Fonoli to	Gesso
Relação C:N			22,25	21,71	51,48				
Densidade (g/cm ³)	0,1	0,02	0,51	0,4	0,3	1,2	1,1	1,1	0,9
Umidade a 65°C (%)	1	0,2	23,2	11,5	6,9	7	6	5	18
Matéria orgânica (%)	3,1	5,7	69,8	56,9	71,9				
Carbono orgânico (%)	1	1,8	40,5	33	41,7				
Nitrogênio (%)	0,05	0,5	1,82	1,52	0,81				
Fósforo (P ₂ O ₅) (%)	1	-	<1	<1	<1				
Potássio (K ₂ O) (%)	1	0	2,0	1,49	3,0	2,7	4,0	11,3	
Cálcio (CaO) (%)	0,5	0,01	2,89	1,16	<0,5	13,5	1,1		27,04
Magnésio (MgO) (%)	0,5	0,03	0,94	<0,5	<0,5	7,5	3,7		
Enxofre (S) (%)	1	-	<1	<1	<1				15,6
Silício (Si) (%)	0,05	0,3				20,47	29,65	19,9	

Fonte: Os autores (2023).

A realização da aeração foi feita com o compostador Jaguar JC 4000 e a umidificação foi realizada com um tanque pipa de 20 mil litros rebocável (Figura 1). Materiais com menos de 30% de umidade inibem a atividade microbiana, sendo que um meio com umidade acima de 65% proporciona uma decomposição lenta, condições de anaerobiose e lixiviação de nutrientes (RICCI; NEVES, 2004). Já a aeração evita altas temperaturas durante o processo de compostagem, aumenta a velocidade de oxidação, diminui a liberação de odores e reduz o excesso de umidade dos materiais em decomposição (SOARES *et al.*, 2017).

Figura 1 - Revolvimento e umidificação das leiras de compostagem



Fonte: Os autores (2023).

O manejo foi realizado em pátio aberto sobre piso de terra compactada, mantendo-se a umidade do material entre 50 e 60% até a fase de maturação. O processo de compostagem de todos tratamentos durou 55 dias, tendo início no dia 23 de julho e término no dia 16 de setembro de 2022, após alcançar a fase de maturação.

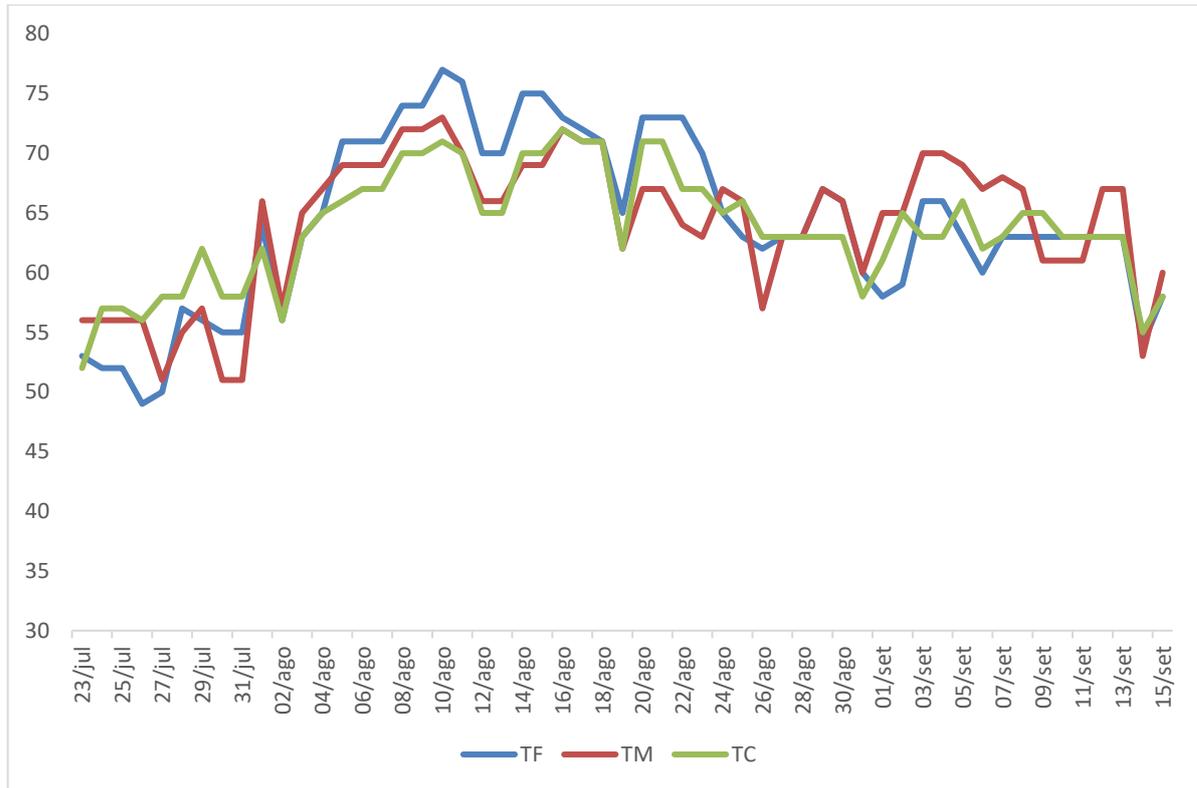
Foram coletadas três amostras compostas para cada tratamento, enviadas para análise no Laboratório Andrios, credenciado pelo MAPA, onde foram avaliadas características físicas, químicas, orgânicas (GERKE, 2018), sanitárias (uso do kit COLItest®) e biológicas (HÖFIG *et al.*, 2022). Para os valores absolutos, calculou-se a média das três amostras de cada tratamento, bem como seu desvio padrão. Também foi contabilizado o aproveitamento dos elementos em cada tratamento, considerando-se o teor inicial do nutriente e o teor do nutriente ao final da compostagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os tratamentos se apresentaram com temperaturas acima de 55°C por mais de 14 dias, o que demonstra que ocorreu o processo da fase termofílica de compostagem (Figura 2). Com isso, todos os compostos exibiram ausência de coliformes totais e de germinação de plantas espontâneas (Tabela 3). Ademais, eles demonstraram características que não causam nenhum efeito

prejudicial ao desenvolvimento das plantas, visto que, conforme testes de germinação conduzido em casa de vegetação, a avaliação realizada com sementes de plantas indicadoras mostrou que os ensaios que receberam composto obtiveram taxa de germinação maior do que no teste com apenas areia e maior também que o parâmetro de qualidade de 80% de taxa de germinação (BUCHANAN *et al.*, 2001). Tiquia, Wan e Tan (1998) apontam que o material é considerado fitotóxico quando o índice de germinação é menor do que 80% em relação ao controle.

Figura 2 - Temperaturas das leiras ao longo do tempo (°C).



Legenda: TF (fonolito); TM (micaxisto); TC (calcixisto).

Fonte: Os autores (2023).

A qualidade de um composto tem relação com o teor de nutrientes, relação C:N, umidade, teor de matéria orgânica, granulometria, grau de humificação e contaminação. Ressalta-se, todavia, que determinar padrões de qualidade para produtos orgânicos pode ser uma tarefa difícil, por causa da heterogeneidade de subprodutos agregados (KATTOOF *et al.*, 2019).

Tabela 3 - Característica químicas, físicas, biológicas e sanitárias do composto de cada tratamento. Legenda: TF (tratamento com fonolito); TM (tratamento com micaxisto); TC (tratamento com calcixisto); DP (desvio padrão); P.I (planta indicadora).

Determinação	Análise	Base	Média TF		Média TM		Média TC	
			Média	DP	Média	DP	Média	DP
pH CaCl2			7,17	0,21	7,2	0	7,73	0,05
Relação C:N		úmida	14,00	0,82	14	0	13	0,00
Densidade		g.cm ⁻³	0,77	0,03	0,70	0,02	0,73	0,03
Umidade			25,15	0,42	28,49	0,46	23,97	0,52
Nitrogênio total			1,18	0,02	1,27	0,05	0,98	0,04
P ₂ O ₅	Química/ física		0,74	0,03	0,75	0,04	0,74	0,00
K ₂ O		%	1,92	0,17	1,77	0,01	1,48	0,09
Ca total			2,65	0,29	2,73	0,14	5,25	0,31
Mg total			0,34	0,24	0,86	0,03	1,80	0,12
Enxofre total			0,62	0,03	0,64	0,02	0,71	0,01
Silício total			10,47	0,77	10,6	1,56	10,87	1,79
CTC efetiva		mmolc kg ⁻¹	443,33	24,94	456,67	18,86	363,33	41,10
Matéria orgânica total		%	29,65	1,56	31,09	1,41	23,40	0,65
Carbono orgânico			16,47	0,86	17,27	0,79	13	0,36
Ácido húmico (AH)	Orgânica	g.kg ⁻¹ C	10,71	1,22	8,36	0,67	9,92	0,86
Ácido fúlvico (AF)		orgânico	7,58	1,14	6,46	0,94	8,45	0,92
Relação AH:AF			1,42	0,05	1,31	0,09	1,18	0,05
Fosfatase ácida		µg PNF.g ⁻¹ .h ⁻¹	655,33	58,99	734,67	177,02	779,67	128,95
β- glicosidase		µg PNG. g ⁻¹ .h ⁻¹	146,00	3,74	162,67	21,75	169	15,58
Microrganismos celulolíticos	Biológica	NMP. g ⁻¹	úmida 4,71E+07	3262119	9,54E+	1022476	2,99E+	181160
Microrganismos diazotróficos				2,84	06	4,06	06	7,57
Taxa de germinação P.I. – areia			7,96E+01	8,53	01	26,40	5,44E+	26,40
Taxa de germinação P.I. – 1%			80	0,00	80	0,00	80	0,00
Germinação plantas espontâneas	Sanitária	Presença ou ausência	Ausência		Ausência		Ausência	
Coliformes totais								

Fonte: Os autores (2023).

A presença de 42,8% de carbonatos reativos fez com que o tratamento com calcixisto (TC) possuísse os maiores teores de cálcio e magnésio, o que demonstra o alto potencial corretivo deste remineralizador e do composto TC. Em contrapartida, os menores valores de K₂O neste pó de

rocha (2,7%) originou um composto com os menores teores deste elemento dentre os tratamentos. O tratamento com fonolito (TF) foi que apresentou o maior teor de K_2O .

Apesar das diferentes proporções de silício no fonolito, micaxisto e calcixisto, os teores de silício nos compostos finais, em torno de 10%, não apresentam diferenças estatísticas entre os tratamentos (Tabela 3). O silício é um dos elementos que tem seu potencial confirmado como redutor da incidência e severidade de doenças em diversas culturas, estando diretamente ligado à resistência mecânica das plantas e a estrutura esquelética e flexibilidade dos vegetais (SANTOS *et al.* 2021). Já os teores de fósforo foram praticamente iguais em todos os tratamentos, o que demonstra que este nutriente advém exclusivamente da parte orgânica do composto.

No tocante à enzima β -glicosidase, indicadora de qualidade biológica do solo (MENDES *et al.*, 2021) e relacionada com a ciclagem de matéria orgânica, especialmente celulose (PINHEIRO, 2021), os resultados foram menores que o encontrado por Höfig *et al.* (2022) em todos tratamentos. Da mesma forma, em todos os testes os valores da enzima fosfatase ácida, associada ao ciclo do fósforo e reveladora da alta atividade de microrganismos mineralizadores de fósforo (ZAGO *et al.*, 2020), também foram menores que o encontrado por Höfig *et al.* (2022). O TC apresentou os maiores valores para as duas enzimas, seguido pelo TM.

Pinheiro (2021) afirma que tais enzimas são indicadores de saúde do solo e são produtos de altíssima rentabilidade comercial para as empresas de biotecnologia. Melo (2007) constatou que, de um modo geral, o uso do lodo de esgoto compostado aumentou a atividade enzimática do solo. Vinhal-Freitas *et al.* (2010) analisaram a atividade enzimática e microbiana em solo tratado com composto orgânico oriundo de resíduos domésticos e relataram que as enzimas β -glicosidase e a fosfatase ácida foram fortemente influenciadas pela adição do adubo, aumentando significativamente, assim como a atividade microbiana.

Esse conjunto de inoculantes, juntamente com substâncias orgânicas complexas, altera para melhor a eficiência de absorção dos elementos minerais no solo, na medida em que favorecem sua ativação biológica. A fosfatase é essencial para disponibilizar o fósforo presente nos solos sob clima tropical, pois, em solos altamente intemperizados, grande parte do fósforo é imobilizada no solo em virtude de reações de precipitação, adsorção e fixação em coloides minerais (VINHA *et al.*, 2021). A enzima β -glicosidase atua na etapa final do processo de decomposição da celulose e é responsável pela hidrólise dos resíduos de celobiose, um dissacarídeo de rápida decomposição no solo, liberando como produto a glicose, que atua como importante fonte de energia para os microrganismos (ZAGO *et al.*, 2018). De forma simbiótica, os microrganismos secretam enzimas (BOROWIK; WYSZKOWSKA, 2016).

Em relação aos microrganismos, o TF revelou os maiores números. Os celulolíticos são vinculados ao ciclo do carbono, decomposição da matéria orgânica, principalmente fibra, e equilíbrio de nutrientes por meio da decomposição da celulose (YANG *et al.*, 2014). Já os diazotróficos são fixadores de nitrogênio atmosférico (SOUSA *et al.*, 2020). Cho (2018) ressalta, porém, que mais de 99% dos microrganismos do solo são desconhecidos por nós, sendo que seus benefícios estão em sua diversidade e suas características autóctones. O autor não recomenda a seleção de microrganismos. Em contrapartida, Leal *et al.* (2021) apontam que as bactérias fixadoras de nitrogênio são consideradas como um dos grupos de maior importância na agricultura tropical.

Na Tabela 4 estão expostos alguns parâmetros de qualidade. Em todas situações foram atingidos os índices de qualidade da CTC efetiva, pH CaCl₂, relação C:N, umidade, teor de nitrogênio, índice de germinação de sementes e temperatura. No TF, entretanto, foi mais difícil se manter a umidade ideal, exigindo molhamentos e revolvimentos mais frequente, sendo 11 e 25, respectivamente, enquanto nos TM e TC, foram 9 e 23. Por essa razão, o TF apresentou períodos com a temperatura muito alta (Figura 1). O calcixisto e o micaxisto apresentam argilominerais expansivos, o que aumenta a capacidade de retenção de água, diferente do fonolito, o que fez com que sua leira demandasse manejo mais frequente. Nenhum tratamento, contudo, gerou odores, que são causados principalmente pela decomposição anaeróbia dos materiais orgânicos devido a bolsões nos quais o oxigênio não consegue penetrar, originados por excesso de umidade ou por maior compactação do composto (BERTON *et al.*, 2021).

Em todos os tratamentos a CTC se mostrou com valores bem acima do parâmetro de qualidade. Isso pode estar relacionado aos minerais silicáticos secundários formados pelo intemperismo dos minerais primários dos pós de rochas utilizados (MARTINS *et al.*, 2010). Nota-se, porém, uma queda considerável da CTC no TC, provavelmente relacionada com os menores teores de carbono orgânico e matéria orgânica oriundos da mineralização mais intensa promovida pelos carbonatos do calcixisto. Ramos *et al.* (2018) apontam a importância da matéria orgânica para a CTC.

Tabela 4 - Padrão de referência de qualidade dos atributos do composto.

Legenda: TC (tratamento com calcixisto); TM (tratamento com micaxisto); TF (tratamento com fonolito); N (não); S (sim).

Dentro do padrão de referência?			Parâmetro de qualidade	Padrão de referência	Fonte
TC	TM	TF			
N	N	N	Relação AH/AF	> 1,6	Ko <i>et al.</i> , 2008
S	S	S	Índice de germinação de sementes	> 80%	Buchanan <i>et al.</i> , 2001
S	S	S	CTC efetiva	> 100 mmol _c /kg	Kiehl, 2004
S	S	S	pH CaCl ₂	> 5,5	Brasil, 2005
S	S	S	Teor de Nitrogênio	> 0,5%	
S	S	S	Umidade	< 50%	Brasil, 2020
N	S	S	Carbono Orgânico	>15%	
S	S	S	Relação C/N	< 20	
S	S	S	Temperatura	14 dias > 55°C ou 3 dias > 65°C	Ibama, 2017

Fonte: Os autores (2023).

O TC foi o tratamento que apresentou mais parâmetros fora do índice de qualidade, tendo como diferença em relação aos outros tratamentos o teor de carbono orgânico abaixo de 15%, como o encontrado por Höfig *et al.* (2022) em estudo de compostagem utilizando o mesmo remineralizador.

Nenhum tratamento conseguiu atingir o parâmetro de qualidade para relação AH/AF. Esta é tida como referência para o grau de humificação de compostos orgânicos e, quanto maior a relação AH/AF, mais humificado é o composto (IGLESIAS-JIMENEZ; PEREZ-GARCIA, 1992; RIFFALDI *et al.*, 1992). Ko *et al.* (2008) afirmam que um composto bem humificado deve apresentar relação AH/AF maior que 1,6. Contudo, Bernal *et al.* (1996) constatam que não é possível estabelecer um valor universal para descrever e prever o grau de maturação de compostos com composições distintas. García-Gómez, Bernal e Roig (2005) encontram valor da relação AH/AF que variam 0,5 e 2,0 de acordo com o adubo avaliado. Já Francou, Poitrenaud e Houot (2005) diagnosticaram variações entre 1,2 e 4,3 em diferentes materiais compostados.

O TF foi o que apresentou a melhor relação AH/AF, entretanto, em nenhum tratamento ocorreu por completo a fase de maturação da compostagem. Considerando o efeito, em clima tropical, da matéria orgânica não decomposta na melhora da atividade biológica e estrutura do solo (PRIMAVESI, 2021), em alguns locais no Brasil, tem-se terminado o manejo da compostagem antes da fase de maturação, para que essa fase ocorra na lavoura. Magalhães *et al.* (2021), por

exemplo, consideraram o composto produzido com resíduos da agroindústria do palmito pronto com 45 dias. Isto é, indica-se o uso de compostos estabilizados, após ultrapassar a fase termofílica (BERTON et al., 2021), mas menos maturados, desde que aplicados com antecedência em relação ao plantio das culturas (BRITO et al., 2017), porque as moléculas mais facilmente biodegradáveis que ainda existem serão mineralizadas pelos microrganismos do solo (RAMÍREZ; MATOS, 2022). Höfig et al. (2022) utilizaram a mesma estratégia.

No tocante a variação dos teores dos elementos químicos na matéria prima inicial do composto e dos produtos finais (Tabela 5), nota-se alterações consideráveis. Em todos os tratamentos o teor de nitrogênio aumentou, demonstrando a ação dos microrganismos diazotróficos na fixação deste elemento. O TC, entretanto, com menor proporção deste grupo de microrganismos (Tabela 3), demonstrou apenas um pequeno aumento de nitrogênio (Tabela 5). Koepf, Pettersson e Schaumann (1983) destacam que o limite aceitável de perda de nitrogênio na compostagem é de 20%. O fósforo, que não foi contabilizado na análise das matérias primas, apareceu em todos os compostos, o que demonstra que os materiais orgânicos possuíam este elemento e foram disponibilizados pela ação da enzima fosfatase ácida. Da mesma forma, o silício, não avaliado nas análises dos resíduos orgânicos, aumentou em todos produtos finais. Já que os valores existentes em cada rocha são distintos e os números finais não foram estatisticamente diferentes, possivelmente esse elemento existe nas matérias primas orgânicas.

Tabela 5 - Variação dos teores dos elementos químicos na matéria prima inicial e nos produtos finais.

Legenda: MOT (Matéria Orgânica Total).

Elementos	Tratamento com fonolito			Tratamento com micaxisto			Tratamento com calcixisto		
	Inicial	Final	Variação	Inicial	Final	Variação %	Inicial	Final	Variação
Nitrogênio (N)	0,96	1,18	122,9	0,96	1,27	132,3	0,96	0,98	102
Fósforo (P ₂ O ₅)	<1	0,74	174	<1	0,75	175	<1	0,74	174
Potássio (K ₂ O)	4,50	1,92	42,67	2,67	1,77	66,3	2,35	1,48	63
Cálcio (Ca)	2,42	2,65	109,5	2,62	2,7	103,05	4,83	5,25	108,69
Magnésio (Mg)	0,33	0,34	103,03	0,89	0,86	96,62	1,46	1,8	123,29
Enxofre (S)	0,78	0,62	79,49	0,78	0,64	82,05	0,78	0,71	91,02
Silício (Si)	4,97	10,47	210,66	7,41	10,6	143,04	5,11	10,87	212,72
MOT	48,84	29,65	60,71	48,84	31,09	63,66	48,84	23,4	47,91

Fonte: Os autores (2023).

O aumento nos teores dos elementos minerais é um indicativo de que o processo foi conduzido de maneira adequada (SENA *et al.*, 2019). À medida que a matéria orgânica é consumida pelos microrganismos, as concentrações dos minerais no composto devem aumentar, pois os incrementos esperados nas concentrações dos minerais deveriam ser proporcionais à redução de massa seca. Com o aquecimento da massa enleirada, grande parte da matéria orgânica é perdida, principalmente na forma de CO₂ e água, ocasionando assim a concentração da matéria mineral. No entanto, também existem perdas. A lixiviação, por exemplo, ocorre quando grande parte dos nutrientes se encontra na forma solúvel. Acredita-se que esta seja uma das principais responsáveis pela variação dos dados encontrados na literatura (ORRICO JÚNIOR *et al.*, 2012).

A redução do teor de matéria orgânica aconteceu em todos tratamentos, sendo maior no TC. A mineralização do carbono orgânico é estimulada pelo aumento do pH e pelo fornecimento dos íons cálcio e magnésio (MCLEAN; JASMIN; HASTER, 1967). Neste sentido, o calcixisto tem os maiores teores de cálcio e magnésio e apresentou o composto final com maior pH e menor teor de matéria orgânica.

Já a lixiviação pode ter sido um dos motivos das perdas de potássio, bem como a mineralogia dos materiais, que pode não ter permitido sua disponibilização. As micas são fontes de potássio, mas a biotita, existente no micaxisto e no calcixisto, apresenta maior potencial para liberar esse nutriente no curto e no médio prazo, enquanto a muscovita, existente nas três rochas, tende a fornecer potássio no médio e no longo prazo. Já os carbonatos, mais presentes no calcixisto, são reconhecidamente reativos, promovem correção de acidez e fornecem cálcio e magnésio. A albita, fonte de silício no longo prazo, e o quartzo e a ilmenita, inertes na escala de tempo agrônômica, estão presentes no micaxisto (TARDY; DUPLAY, 1992; WIELAND; WEHRLI; STUMM, 1988).

Ainda assim, a presença de íons H⁺ aumenta a protonação na superfície mineral e enfraquece as ligações de metal-oxigênio da estrutura do mineral. Espera-se que um decréscimo no pH, o que acontece durante o processo de compostagem, aumente a taxa de dissolução de minerais silicatados. Os ácidos orgânicos presentes na matéria orgânica ou exsudados por microrganismos e plantas podem facilitar a intemperização de minerais pela formação de complexos orgânico-metálicos ou pela liberação de H⁺ (HARLEY; GILKES, 2000). Estudos têm demonstrado a ação destes ácidos na dinâmica de liberação de potássio de minerais (SONG; HUANG, 1988) e pela acidificação do meio (STILLINGS; BRANTLEY, 1995).

Assim, a compostagem disponibilizou grande parte do K. Mesmo com a diminuição relativa do potássio causada pela lixiviação da parte solúvel ou a sua indisponibilidade, as rochas moídas com mais potássio apresentaram o produto final com maior teor desse elemento, o que demonstra que houve liberação do K que constitui os remineralizadores. O TM foi o que apresentou menores

perdas relativas de potássio, seguido do TC, possivelmente pela retenção de potássio nos minerais neoformados. O maior aproveitamento de K geralmente define a maior relação custo/benefício. O mesmo raciocínio vale para o Ca e Mg, onde se lixiviou parte do que estava solúvel e houve liberação do que estava retido, mas, com exceção do Mg para o TM, a liberação foi predominante. Ressalta-se também que ocorreu perda de enxofre em todos tratamentos, já que este elemento, após oxidado, fica propenso à lixiviação (CHEN *et al.*, 1999).

CONCLUSÕES

Ocorreu uma compostagem eficiente em todos tratamentos, demonstrado pela caracterização da fase termofílica e ausência de coliformes totais e de germinação de plantas espontâneas.

O tratamento com fonolito demandou manejos mais frequentes pelo fato desta rocha moída reter menos água.

Nenhum tratamento apresentou a relação AH/AF dentro do parâmetro de qualidade, já que a compostagem foi encerrada, de forma estratégica, no início da fase de maturação, logo após a estabilização.

O tratamento com calcixisto apresentou um número menor de índices dentro dos parâmetros de qualidade em relação aos outros tratamentos com outros agrominerais.

Os maiores teores de nitrogênio nos produtos finais da compostagem em relação aos valores existentes nas matérias primas indicam que, tendo a compostagem sido bem conduzida, os microrganismos conseguiram absorver nitrogênio da atmosfera.

A compostagem disponibilizou K, Ca e Mg que estavam retidos em forma de silicatos e carbonatos.

O tratamento com micaxisto demonstrou a menor diminuição relativa de potássio entre as matérias primas originais e o produto final, o que, geralmente, define a melhor relação entre custo e benefício.

Este estudo possibilitou comprovar que é possível produzir fertilizantes orgânicos de qualidade com fontes regionais de nutrientes.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, Renato Linhares; ROMEIRO, Ademar Ribeiro. Agroecologia e agricultura orgânica: controvérsias e tendências. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, PR, n. 6, p. 67-80, jul./dez. 2002.
- AYOADE, Johnson Olaniyi. **Introdução a climatologia para os trópicos**. 14. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 350 p.
- BERNAL, Maria. Pilar; NAVARRO, Antonio, F.; ROIG, Asunción; CEGARRA, Juan; GARCIA, Diego, E. Carbon and nitrogen transformations during composting of sweet sorghum bagasse. **Biology and Fertility Soils**, Berlin, v. 22, p. 141-148, 1996.
- BERTON, Ronaldo S.; CHIBA, Márcio K.; COSCIONE, Aline R.; ABREU, Mônica F. de; NASCIMENTO, Altina L. **Compostagem para fins agrícolas**. Campinas, SP: Instituto Agronômico de Campinas, 2021. 116 p.
- BOFF, Leonardo. **Ecologia: grito da terra, gritos dos pobres**. São Paulo: Ática, 1995.
- BOROWIK, Agata; WYSZKOWSKA, Jadwiga. Soil moisture as a factor affecting the microbiological and biochemical activity of soil. **Plant Soil and Environment**, Petřská, v. 62, n. 6, p. 250–255, 2016. DOI: 10.17221/158/2016-PSE.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, [...] **Diário Oficial da União**: seção 4, Brasília, DF, p. 8, 15 jul. 2020.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 23, de 31 de agosto de 2005. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 12, 8 set. 2005.
- BRITO, Luís M.; MOURÃO, Isabel; RODRIGUES, Rene, COUTINHO, J. Lettuce and cabbage growth and nutrient uptake response to invasive Acacia waste composts. *In*: BAUMGARTEN, Andreas; CARLILE, Bill; RAVIV, Michael (ed.). **Acta horticulturae**. Vienna, Austria: ISHS, 2017. v. 1168, p. 39– 46. DOI: 10.17660/ActaHortic.2017.1168.6 (electronic).
- BUCHANAN, Marc; BRINTON, William; SHIELDS, Frank; THOMPSON, Wayne. **Compost maturity index**. Nevada City, CA: California Compost Quality Council, 2001.
- CHEN, Wen; BLAIR, Graeme; SCOOT, Jim; LEFROY, Rod. Nitrogen and sulfur dynamics of contrasting grazed pastures, **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, AU, v. 50, p. 1381-1392, 1999.
- CHO, Youngsang. **Agricultura orgânica JADAM: o caminho para uma agricultura de ultrabaixo custo**. Yuseong Gu, Daejon, República da Coréia: JADAM, 2018.
- FEIDEN, Alberto. **Conceitos e princípios para o manejo ecológico do solo**. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 2001. 21 p. (Documentos, 140).
- FRANCOU, Cédric; POTRENAUD, Maelenn; HOUOT, Sabine. Stabilization of organic matter during composting: influence of process and feedstocks. **Compost Science & Utilization**, Emmaus, US, v. 13, n. 1, p. 72-83, 2005.

GARCÍA-GÓMEZ, António; BERNAL, Maria Pilar; ROIG, Asunción. Organic matter fractions involved in degradation and humification processes during composting. **Compost Science & Utilization**, Emmaus, US, v. 13, n. 2, p. 127-135, 2005.

GERKE, Jörg. Concepts and misconceptions of humic substances as the stable part of soil organic matter: a review. **Agronomy**, Basel, v. 8, n. 5, p. 76, 2018. DOI: 10.3390/agronomy8050076

GLIESMANN, Sthepen R. **Agroecologia**. Processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: UFRGS, 2000. 653 p.

HARLEY, Alan D.; GILKES, Robert J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. **Nutrient cycling in agroecosystems**, Dordrecht, NL, v. 56, p. 11-36, 2000.

HENSEL, Julius. **Pães de pedra**: brot aus Steinen, durch mineralische Düngung der Felder. Canoas: Salles, 1898. 79 p.

HÖFIG, Pedro; GIASSON, Elvio. **Levantamento de reconhecimento dos solos da Fazenda Ouro Verde**. Unai, MG [S. l.], 2015.

HÖFIG, Pedro; MARTINS, Éder de S.; BROETTO, Tiago; GIASSON, Elvio; SILVA, Glauco M. F. da. Avaliação da qualidade de um fertilizante produzido por compostagem conjunta de materiais orgânicos e rochas moídas, Revista em Agronegócio e Meio Ambiente – RAMA, Maringá, PR, v. 15, n. 3, 2022. ISSN 2176-9168on-line.

IBAMA-INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Resolução nº 481, de 3 de outubro de 2017**. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. Brasília, DF: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2017.

IBGE. **Base contínua ao milionésimo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: ftp://geofp.ibge.gov.br/mapeamento_sistematico/base_continua_ao_milionesimo/. Acesso em: 4 nov. 2019.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271p.

IGLESIAS-JIMENEZ, Emeterio; PEREZ-GARCIA, Víctor. Determination or maturity índices for city refuse composts. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 38, n. 4, p. 331-343, 1992.

INYINBOR, Adejumo A.; BELLO, Olugbenga S.; OLUYORI, Abimpola P.; INYINBOR, Henry E.; FADIJI, Ayomide E. Wastewater conservation and reuse in quality vegetable cultivation: overview, challenges and future prospects. **Food Control**, Karlsruhe, v. 98, p. 489 – 500, 2019. DOI: 10.1016/j.foodcont.2018.12.008

KATTOOF, Saioof H.; EL-GHAMRY, A. M.; FOUUDA, Karim F.; EL-EZZ, Sally F. A. Organic fertilizers derived from farm by-products for sustainable agriculture: a review. **Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering**, Dakahlia, v. 10, n. 12, p. 815-819, 2019.

- KHATOUNIAN, Carlos, A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Botucatu: Agroecológica, 2001. 348p.
- KIEHL, Edmar J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4. ed. Piracicaba: E. J. Kiehl, 2004. 173 p.
- KO, Han, J.; KIM, Ki, Y.; KIM, Hyeon, T.; KIM, Chi, N.; UMEDA, M. Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure. **Waste Management**, Elmsford, NY, v. 28, n. 5, p. 813-820, 2008.
- KOEPF, Herbert H.; PETERSSON, Bo D.; SCHAUMANN, Wolfgang. **Agricultura biodinâmica**. São Paulo: Nobel, 1983.
- LEAL, Maria L. de A.; CHAVES, Josimar da S.; SILVA, Jandiê A. da; SILVA, Lucas S. da; SOARES, Ronielly B.; NASCIMENTO, João P. S. do; MATOS, Sandoval M. de.; TEIXEIRA JÚNIOR, Devair L.; BRITO NETO, Alfredo F. de. Effect of management systems and land use on the population of soil microorganisms. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 9, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i9.17966. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/17966>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- LEONARDOS, Othon H.; THEODORO, Suzi H.; ASSAD, Maria L. Remineralization for sustainable agriculture: a tropical perspective from a Brazilian viewpoint. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, NL, v. 56, n. 1, p. 3-9, 2000.
- MAGALHÃES, Washington L. E.; SÁ, Francielen P.; BELNIAKI, Andreza C.; LIMA, Edson A. de. **Composto produzido com resíduos da agroindústria do palmito pupunha**. Colombo: Embrapa Florestas, 2021. (Comunicado Técnico, 473).
- MARTINS, E. de S.; RESENDE, Álvaro V. de; OLIVEIRA, C. G. de; FURTINI-NETO, A. E. Materiais silicáticos como fontes regionais de nutrientes e condicionadores de solos. In: FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B. da; CASTILHOS, Z. C. (ed.) **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 380 p.
- MCLEAN, Andrew J.; JASMIN, Jean J.; HASTER, Robert L. Effect of lime on potato crops and properties of a sphagnum peat soil, **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, CA, v. 47, n. 2, p. 89-94, 1967.
- MELO, Wanderley J. de. Uso de resíduos na agricultura e qualidade ambiental. In: SILVEIRA, Adriana P. D. da; FREITAS, Sueli dos S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007. 312 p.
- MENDES, Ieda C.; SOUSA, Djalma M. G.; DANTAS, Ozanival D.; LOPES, André A. C.; REIS JÚNIOR, Fábio B.; OLIVEIRA, Maria Inês; CHAER, Guilherme M. Soil quality and grain yield: a win-win combination in clayey tropical Oxisols. **Geoderma**, Amsterdam, NL, v. 388, p. 114880, 2021.
- ORRICO JÚNIOR, Marco A. P.; ORRICO, Ana C. A.; LUCAS JUNIOR, Jorge de; SAMPAIO, Alexandre A. M.; FERNANDES, Alexandre R. M.; OLIVEIRA, Emanuel A. de. Compostagem dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 41, n. 5, p. 1301-1307, 2012.

PENTEADO, Sílvio R. **Adubação orgânica**: compostos orgânicos e biofertilizantes. 3. ed. São Paulo: Via Orgânica, p. 160. 2010.

PERES, Fernando C.; HIRONAKA, Giselda M. F. N.; CANZIANI, José Roberto;
GUIMARÃES, Vânia Di Addario; OLIVEIRA, M. M. C. de. **O programa empreendedor rural**. Curitiba: SEBRAE/PR: SENAR/PR, 2010.

PINHEIRO, Sebastião. **Biopoder camponês**: território, questão agrária, agroecologia, espiritualidade e a nutrição ultrassocial. Porto Alegre: Gráfica da UFRGS, 2021. 282 p.

PRIMAVESI, Ana. **Pergunte o porquê ao solo e às raízes**: casos que auxiliam na compreensão de ações eficazes na produtividade agrícola. São Paulo: Expressão Popular, 2021. 356 p.

RAMALHO-FILHO, Antônio; BEEK, Klaas J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1995. 65 p.

RAMÍREZ, Viviana S.; MATOS, Antônio T de. Influência da textura do solo receptor e das condições climáticas e ambientais na taxa e fração de mineralização da matéria orgânica no solo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, RJ, v. 27, n. 2, p. 315-323, mar./abr. 2022.

RAMOS, Fabrício T; DORES, Eliana F. G. C.; WEBER, Oscarlina L. S.; BEBER, Daniel C.; CAMPELO JÚNIOR, José H.; MAIA, João C. S. Soil organic matter doubles the cation exchange capacity of tropical soil under no-till farming in Brazil. **Journal of The Science of Food and Agriculture**, London, v. 98, p. 3595-3602, 2018.

RICCI, Marta dos S. F.; NEVES, Maria Cristina P. **Cultivo do café orgânico**. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 2004. 95 p.

RIFFALDI, R.; LEVI-MINZI, R.; SAVIOZZI, A.; CAPURRO, M. Evaluating garbage compost. **BioCycle**: Journal of Waste Recycling, Emmaus, US, v. 33, p. 66- 69, 1992.

SANTOS, Leônidas C.; SILVA, Guilherme A. M.; ABRANCHES, Mikaela O.; ROCHA, Josinaldo L. A.; SILVA, Smyth T. A.; RIBEIRO, Michel D. S.; GOMES, Valéria R.; SEVERO, Pedro J. S.; BRILHANTE, Cledinildo L.; SOUSA, Flaubert Q. The role of silicon in plants. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 7, p. e3810716247, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i7.16247.

SENA, Larissa M.; ARRUDA, Jullyanne F. de; COSTA, Francisca Raíssa da S.; ALMEIDA, Fabiana B. B. de; BRITO, Paulo O. B. de; GONDIM, Franklin A. V. Compostagem e vermicompostagem como alternativa para tratamento e destinação de resíduos orgânicos. **Revista Verde**: de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Pombal, PB, v. 14, n. 2, p. 266-272, 2019.

SOARES, Joyce D. R.; REZENDE, Renata A. L. S.; REZENDE, Ramiro M.; BOTREL, Elberis P.; Carvalho, Alex M. de. Compostagem de resíduos agrícolas: uma fonte de substâncias húmicas, **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 16, n. 4, p. 414-421, out./dez., 2017.

SONG, Sang-Keun; HUANG, P. M. Dynamics of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, US, v. 52, n. 2, p. 383-390, 1988.

SOUSA, Lusiene B.; SILVA, Vinícius S. G. da; FREITAS, Maria Cristina.; MARTINS, M. dos S.; SILVA, C. C. G. da; SILVA, E. V. N. da; SILVA, A. F. da. Caracterização morfofisiológica de diazotróficas de vida livre provenientes de solos sob diferentes coberturas vegetais do nordeste brasileiro, **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, PR, v. 6, n. 2, p. 9424-9430, fev. 2020.

STEINER, Rudolf. **Die aufgabe der antroposophie gegenüber wissenschaft und technik**. Dornach: Rudolf Steiner Verlag, 1977.

STEINER, Rudolf. **Fundamentos da agricultura biodinâmica**: vida nova para a terra. São Paulo: Antroposófica, 2017. 149 p.

STILLINGS, Lisa L.; BRANTLEY, Susan L. Feldspar dissolution at 25 °C and pH 3: reation stichiometry and the effect at cations. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, London, v. 59, n. 8, p. 1483-1496, 1995.

TARDY, Yves; DUPLAY, Joelle. A method of estimateng the Gibbs free energies of formation of hydrated and dehydrated clay minerals. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, London, v. 56, n. 8, p. 3007-3029, 1992.

TEIXEIRA, Aline M. dos S.; SAMPAIO, João A.; GARRIDO, Francisco M. dos S.; MEDEIROS, Marta E. Avaliação da rocha fonolito como fertilizante alternativo de potássio. **Holos Environment**, Rio Claro, SP, v. 5, p. 21–33, 2012. DOI: 0.15628/holos.2012.1102

THEODORO, Suzi H. **Cartilha da rochagem**. Brasília: Gráfica e Editora Ideal, 2020. 32 p.

TIQUIA, Sonia M.; WAN, Judy H. C.; TAM, Nora F. Y. Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge. **Bioresource Technology**, Essex, v. 65, n. 1-2, p. 43-49, 1998.

UROZ, Stéphane; KELLY, Laura C.; TURPAULT, Marie-Pierre; LEPLEUX, Cendrella; FREY-KLETT, Pascale. The mineralosphere concept: mineralogical control of the distribution and function of mineral-associated bacterial communities. *Trends in Microbiology*, Cambridge, v. 23, p. 751-762, 2015.

VINHA, Ana. Paula C.; CARRARA, Bruna H.; SOUZA, Emanuella F. S.; SANTOS, Jussane A. F. dos; ARANTES, Sayonara A. C. M. Adsorção de fósforo em solos de regiões tropicais, **Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 9, n. 1, p. 30-35, jan./fev. 2021.

VINHAL-FREITAS, Isabel Cristina; WANGEN, Dalcimar R. B.; FERREIRA, Adão S.; CORRÊA, G. F.; WENDLING, Beno. Microbial and enzymatic activity in soil after organic composting. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, SP, v. 34, n. 3, p. 757-764, 2010.

WIELAND, Erich; WEHRLI, Bernhard; STUMM, Werner. The coordination chemistiry of weathering: III. A generalization on the dissolution rates of minerals. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Oxford, v. 52, n. 8, p. 1969-1981, 1988.

WISTINGHAUSEN, Christian von; SCHEIBE, Wolfgang, HEILMANN, Hortnut; WISTINGHAUSEN, Eckard von; KÖNIG, Uli J. **Manual para o uso dos preparados biodinâmicos**. São Paulo: Antroposófica, 2000.

YANG, Jiang-Ke; ZHANG, Jing-Jing; YU, Hang-Yu; CHENG, Jian-Wen; MIAO, Li-Hong. Community composition and celulase activity of cellulolytic bacteria from forest soils planted

with broad-leaved deciduous and evergreen trees. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 98, n. 3, p. 1149-1458, 2014.

ZAGO, Leciana M. S.; MOREIRA, Andreza K. O.; SILVA-NETO, Carlos M.; NABOUT, João C.; FERREIRA, Manuel E.; CARAMORI, Samantha S. Biochemical activity in Brazilian Cerrado soil differentially affected by perennial and annual crops. **Australian Journal of crop Science**, Brisbane, AU, v. 12, n. 2, p. 235-242, 2018.

ZAGO, Leciana M. S.; RAMALHO, Werther P.; SILVA-NETO, Carlos M.; CARAMORI, Salomão S. Biochemical indicators drive soil quality in integrated crop-livestock-forestry systems. **Agroforestry Systems**, Bangor, UK, v. 94, p. 2249-2260, 2020.

Recebido em: 27 de janeiro de 2023

Aceito em: 23 de março de 2023