

Produção de fertilizante orgânico por meio da compostagem tropical conjunta de resíduos orgânicos com pó de rocha

Organic fertilizer production through joint tropical composting of organic waste with rock dust

Producción de fertilizante orgánico mediante compostaje tropical conjunto de residuos orgánicos con harina de roca

Pedro Höfig

Doutor em Ciências Ambientais

Instituição: Universidade de Brasília

Endereço: Planaltina – Distrito Federal, Brasil

E-mail: pedro.hofig@ah.agr.br

Éder de Souza Martins

Doutor em Geologia

Instituição: Embrapa Cerrados

Endereço: Planaltina – Distrito Federal, Brasil

E-mail: eder.martins@embrapa.br

Elvio Giasson

Doutor em Ciência do Solo

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Endereço: Porto Alegre – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: giasson@ufrgs.br

Amanda Posselt Martins

Doutora em Ciência do Solo

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Endereço: Porto Alegre – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: amanda.posselt@ufrgs.br

RESUMO

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 em relação à adubação. A compostagem conjunta de resíduos orgânicos e rochas moídas alia duas técnicas ancestrais, mas é pouco difundida. Este trabalho teve como objetivo avaliar um fertilizante produzido pela compostagem conjunta de resíduos orgânicos e pó de rocha. Os componentes utilizados para a produção do composto foram cama de bovino, silagem de milho, casca de café, gesso agrícola e pó de rocha de fonolito. A temperatura e a umidade do composto foram medidas diariamente. 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. As análises química, orgânica, biológica e sanitária indicaram que o processo de compostagem foi realizado de forma correta. Com isso, o composto produzido com fontes regionais de nutrientes possui boa qualidade

e é passível de ser usado na agricultura, já que atende aos requisitos necessários para ser enquadrado como fertilizante orgânico composto classe A, mas notou-se que parte dos nutrientes do pó de rocha não foram disponibilizados pela compostagem, devido à sua mineralogia e à sua granulometria.

Palavras-chave: remineralizador, agricultura sustentável, agromineral silicático, fertilizantes.

ABSTRACT

The search for profitable and permanent agriculture involves valuing the sources of nutrients available regionally, which provides more autonomy for the rural sector in relation to fertilization. The joint composting of organic waste and ground rocks combines two ancestral techniques, but it is not very widespread. The objective of this study was to evaluate a fertilizer produced by the joint composting of organic waste and rock dust. The components used to produce the compost were cattle manure, corn silage, coffee husks, agricultural gypsum and phonolite rock dust. The temperature and humidity of the compost were measured daily. The aeration was carried out with the Jaguar JC 4000 composter and the humidification was carried out with a 20-thousand-liter towable water tank. The chemical, organic, biological, and sanitary analyses indicated that the composting process was carried out correctly. Thus, the compost produced with regional sources of nutrients has good quality and can be used in agriculture, since it meets the necessary requirements to be classified as class A organic compound fertilizer, but it was noted that part of the nutrients in the rock dust was not made available by composting, due to its mineralogy and granulometry.

Keywords: remineralizer, sustainable agriculture, silicatic agromineral, fertilizers.

RESUMEN

La búsqueda de una agricultura rentable y duradera implica la valorización de las fuentes de nutrientes disponibles a nivel regional, lo que proporciona mayor autonomía al sector rural en relación con la fertilización. El compostaje conjunto de residuos orgánicos y rocas molidas combina dos técnicas ancestrales, aunque aún poco difundidas. Este estudio tuvo como objetivo evaluar un fertilizante producido mediante compostaje tropical conjunto de residuos orgánicos con harina de roca. Los componentes utilizados para la elaboración del compost fueron cama de bovino, ensilado de maíz, cáscara de café, yeso agrícola y harina de roca de fonolita. La temperatura y la humedad del compost fueron medidas diariamente. La aireación se realizó con el compostador Jaguar JC 4000 y la humidificación se llevó a cabo mediante un tanque cisterna remolcable de 20 mil litros. Los análisis químicos, orgánicos, biológicos y sanitarios indicaron que el proceso de compostaje fue correctamente ejecutado. Como resultado, el compost producido con fuentes regionales de nutrientes presentó buena calidad y puede ser utilizado en la agricultura, ya que cumple con los requisitos necesarios para ser clasificado como fertilizante orgánico compuesto clase A. Sin embargo, se observó que parte de los nutrientes presentes en el harina de roca no fueron liberados durante el compostaje, debido a su mineralogía y granulometría.

Palabras clave: remineralizante, agricultura sostenible, agromineral silicatado, fertilizantes.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e o emprego em larga escala de insumos agrícolas sintéticos e de origem mineral propiciaram o que é hoje conhecida como Revolução Verde e se reveste de grande importância na agricultura brasileira a partir dos anos 1970 (RAJÃO *et al.*, 2023). No entanto, com o passar dos anos, começou-se a observar o aumento do desequilíbrio da vida do solo e o declínio da produtividade (NAIR, 2019).

A ampla adoção de fertilizantes químicos industriais fez com que as práticas agrícolas se distanciassem do cuidado e da reciclagem de nutrientes para simplesmente aplicá-los na forma de fertilizantes solúveis de síntese química (Montgomery, 2021). Para adquirir tais produtos de fontes finitas (Wistinghausen *et al.*, 2000) e que apresentam desvantagens em seu comportamento relacionados ao clima (alta pluviosidade) e solo tropical (baixa capacidade de troca cátions) (Leonardos *et al.*, 2000), o produtor rural usualmente se depara com setores concentrados ou oligopolizados (Peres *et al.*, 2010).

No entanto, a possibilidade de se mobilizar recursos locais e regionais 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). Neste sentido, a compostagem, técnica ancestral (Koepf *et al.* 1983), e a aplicação de rochas moídas como remineralizadores de solo, prática utilizada desde o fim do século XIX (Hensel, 1898), surgem como alternativas e refletem a ideia de uma agricultura baseada nos ciclos naturais.

A aplicação de pó de rocha acelera um processo de rejuvenescimento dos solos que acontece naturalmente por meio de erupções vulcânicas, movimentos glaciares e depósitos aluvionares (Vidigal *et al.*, 2023). 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). Já a compostagem tropical, com receita equilibrada e controle diário de aeração, umidade e cheiro, é um processo mais rápido que a compostagem clássica, em que se preserva mais de dois terços do volume inicial dos materiais iniciais (Teixeira, 2024), pois se encerra o processo antes da fase de maturação (Höfig *et al.*, 2022), tendo em vista que as moléculas mais facilmente biodegradáveis que ainda existem serão mineralizadas pelos

microrganismos do solo (Ramírez; Matos, 2022) e isso acontece de forma muito mais rápida em clima tropical quando comparado à realidade de clima temperado.

Além disso, adicionar rochas moídas remineralizadoras ao processo de compostagem é uma forma de intemperismo biológico da rocha e, ao mesmo tempo, de aumento de vida na compostagem, já que os minerais estimulam a atividade biológica, pois são alimentos para os fungos e bactérias (Uroz *et al.*, 2015). Os microrganismos presentes no composto aceleram, por meio dos ácidos húmicos, a quebra dos compostos químicos presentes na rocha, especialmente nos argilominerais, liberando, dessa forma, uma maior porcentagem de nutrientes para as plantas após sua aplicação no solo (Pinheiro, 2021). Silva *et al.* (2017) demonstraram que há um aumento na disponibilidade de nutrientes dos remineralizadores às plantas quando se realiza a inoculação com microrganismos, devido à maior atividade biológica. Xiao *et al.* (2012) afirmam que os fungos filamentosos podem exercer forças biofísicas capazes de deteriorar os minerais, reduzindo o tamanho das partículas e expondo superfícies reativas mais acessíveis à ação bioquímica dos outros microrganismos.

Os estudos existentes sobre o uso de rochas moídas remineralizadoras no processo de compostagem indicam benefícios, mas várias questões permanecem em relação à qualidade dos produtos e suas proporções ideais. Diante da diversidade de materiais orgânicos e de pós de rochas disponíveis regionalmente, com distintos potenciais para realização de compostagem conjunta, é imperiosa a necessidade de pesquisas que testem tais produtos. O fonolito é um agromineral silicático derivado de uma rocha alcalina de origem vulcânica do Complexo Alcalino de Poços de Caldas (Teixeira *et al.* 2011). Neste sentido, este trabalho avaliou o processo e a qualidade do produto final de uma compostagem tropical conjunta de resíduos orgânicos com o pó de rocha de um fonolito.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Ouro Verde, zona rural de Unaí/MG, mesorregião Noroeste de Minas Gerais. A área situa-se em clima tropical com estação seca no inverno, classificado por Köppen como Aw (Ayoade, 2003), e altitude média de 870 metros.

Foi realizado um tratamento de compostagem tropical com os seguintes ingredientes: cama de bovino de corte, silagem de milho, casca de café, gesso agrícola e pó de rocha do

fonolito. Como inoculante foi utilizada a Solução de Microrganismos JADAM (Cho, 2018). A cama de bovino de corte foi constituída de capim napier triturado e dejetos de bovinos.

A leira de composto tropical possuía 35 metros de comprimento, 1,5 metros de altura e largura de 1,8 metros, na qual foi misturado 1.411 kg de cama de bovino/m de leira (35% da massa total), 1.347 kg de casca de café/m de leira (30% da massa total), 218 kg de silagem de milho/m de leira (5% da massa total), 166 kg de gesso/m de leira (5% da massa total) e 735 kg de pó de rocha de fonolito/m de leira (25% da massa total).

Todas as matérias primas para realizar a compostagem 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 1). A mineralogia do pó de rocha de fonolito apresentou a predominância de microclínio e muscovita, com traços de caulinita e gibbsita, e a análise apontou 11,3% de K₂O e 19,9% de Si. A distribuição granulométrica não alcançou 80% passante na peneira de abertura de 0,3 mm. O material está registrado no MAPA como fertilizante mineral simples, sob o N^o.: MG 001151-7.00002.

Foram registradas diariamente a temperatura da leira, 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 aproximadamente 1 metro de altura do solo, e a umidade do composto foi avaliada pelo tato (Penteado, 2010).

Tabela 1. Relação C:N, densidade e teores de nutrientes totais das matérias primas utilizadas na compostagem

Parâmetro	Cama bovino	Silagem milho	Casca café	Fonolito	Gesso
Relação C:N	22,2	21,7	51,5	-	-
Densidade (g/cm³)	0,5	0,4	0,3	1,1	0,9
Umidade a 65°C (%)	23,2	11,5	6,9	5	18
Matéria orgânica (%)	69,8	56,9	71,9	-	-
Carbono orgânico (%)	40,5	33	41,7	-	-
Nitrogênio (%)	1,8	1,52	0,8	-	-
Fósforo (P₂O₅%)	< 1	< 1	< 1	-	-
Potássio (K₂O %)	2,0	1,49	3,0	11,3	-
Cálcio (CaO %)	2,9	1,16	< 0,5	-	27,0
Magnésio (MgO %)	0,4	< 0,5	< 0,5	-	-
Enxofre (S) (%)	< 1	< 1	< 1	-	15,6
Silício (Si) (%)	-	-	-	19,9	-

Fonte: Os autores.

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

Foram coletadas três amostras compostas, 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 finais totais, calculou-se a média das três amostras, bem como seu desvio padrão.

Também foi contabilizado o aproveitamento dos elementos, considerando-se o teor total inicial do nutriente e o teor total do nutriente ao final da compostagem tropical, levando em consideração a redução da massa total da leira. 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. Dessa forma, os teores iniciais foram normalizados para a quantidade de matéria orgânica, ajustando-se os valores dos teores iniciais e finais de matéria orgânica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

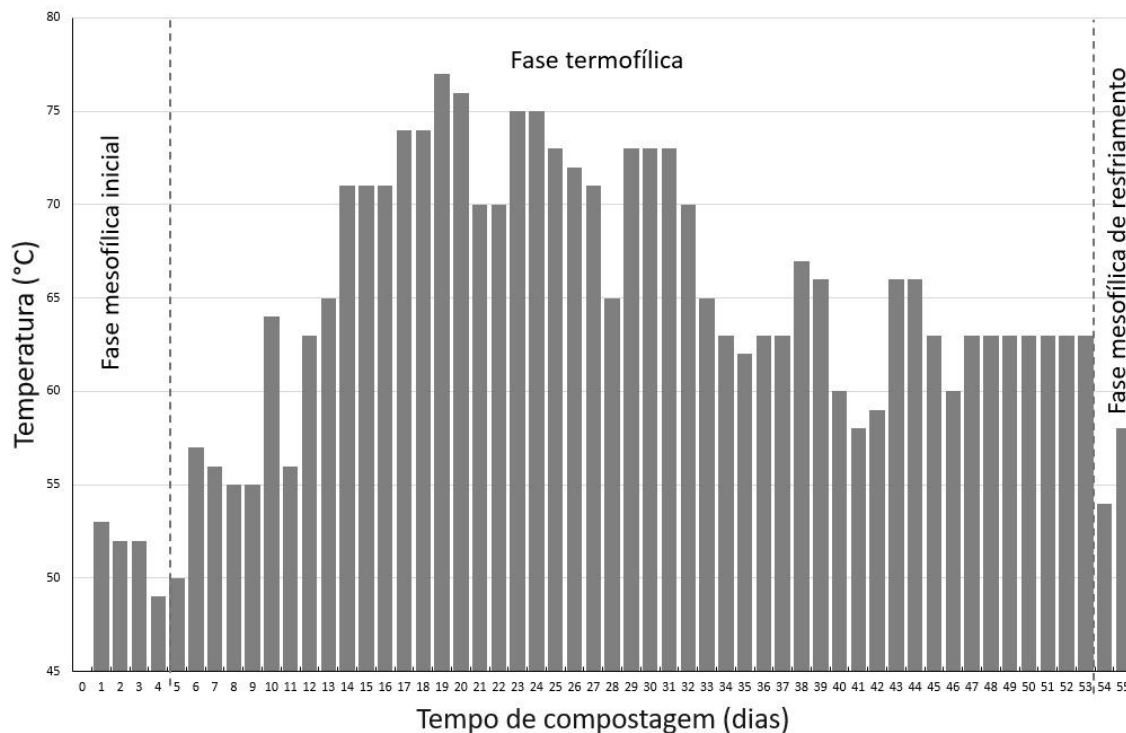
A presença de calor nas leiras representa a primeira indicação de que o processo de compostagem está se desenvolvendo e que a matéria prima a ser compostada tem microrganismos que decompõe a matéria orgânica, havendo umidade adequada e oxigênio (Caldeira *et al.*, 2012), o que aconteceu em nosso estudo. A leira de compostagem se apresentou com temperaturas acima de 55°C por mais de 14 dias, o que demonstra que ocorreu a fase termofílica da compostagem, mas foi encerrada antes da fase de maturação, pois, apesar da queda de temperatura, ela não perdeu a capacidade de auto aquecimento (Figura 1).

Contudo, notou-se dificuldade em se manter a umidade ideal, exigindo molhamentos e revolvimentos frequentes, sendo 11 e 25 vezes ao longo dos 55 dias, respectivamente. Por essa razão, a leira apresentou períodos com a temperatura muito alta, com 18 dias acima de 68° C (Figura 1). Não foi notado, porém, odores desagradáveis, 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). Neste sentido, percebeu-se a necessidade de mais molhamentos e revolvimentos do que encontrado por Höfig *et al.* (2023a), em compostagem com os mesmos resíduos orgânicos, mas com o pó de rocha de micaxisto. Com o intemperismo que ocorre durante a compostagem, a biotita e hidrobiotita do micaxisto se transforma em vermiculita (Krahl, *et al.*, 2022), um mineral expansivo, o que aumenta a capacidade de retenção de água, diferente do fonolito, o que fez com que sua leira demandasse manejo mais frequente. Além disso, o pó de rocha de fonolito apresentou granulometria excessivamente grosseira.

Neste sentido, em trabalho de compostagem conjunta de remineralizador e resíduos orgânicos, Höfig *et al.* (2023b) perceberam que o uso de remineralizador, não ultrapassando 30% do peso seco total da receita, estimula a atividade biológica da compostagem, e valores acima de 30% dificultam o manejo da leira e atrapalham a atividade biológica. Medeiros *et al.* (2023) apontam que ainda existe poucas pesquisas sobre o tema, mas não recomenda a adição de remineralizador em doses superiores a 25% de massa/volume. Doses menores, como 10%, além de garantir melhor porosidade, alteram menos a densidade do material final. Koepf *et al.* (1983) apontaram que é vantajoso ter-se um mínimo de 5-10% de pó de basalto em qualquer composto, mas não mais que 30%. Tavares *et al.* (2018) apontam que a dose de remineralizador adicionada no início do processo de compostagem precisa ser definida com cautela, já que, dependendo da granulometria e mineralogia do remineralizador, a dose poderá reduzir em excesso a porosidade da leira de compostagem.

Figura 1 – Temperatura (°C) da leira de compostagem ao longo do tempo em experimento de compostagem com resíduos orgânicos e pó de rocha de fonolito realizado de julho a setembro de 2022.



Fonte: Os autores.

Com processo de compostagem controlado, o composto exibiu ausência de coliformes totais e de germinação de plantas espontâneas (Tabela 2). Ademais, ele demonstrou 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, conforme proposto por Buchanan *et al.* (2001).

Tabela 2. Característica químicas, físicas, biológicas e sanitárias do composto pronto.

Determinação*	Análise	Média	DP
pH CaCl ₂	-	7,17	0,21
Relação C:N	-	14	0,82
Densidade	g.cm ⁻³	0,77	0,03
Umidade		25,15	0,42
Nitrogênio	Química/física	1,18	0,02
P ₂ O ₅		0,74	0,03
K ₂ O		1,92	0,17
Cálcio		2,65	0,29
Magnésio		0,34	0,24
Enxofre		0,62	0,03

Silício		10,47	0,77
CTC efetiva	mmol _c kg ⁻¹	443,3	24,94
Matéria orgânica total	%	29,65	1,56
Carbono orgânico		16,47	0,86
Ácido húmico (AH)	Orgânica	10,71	1,22
Ácido fúlvico (AF)	g.kg ⁻¹ C orgânico	7,58	1,14
Relação AH:AF	-	1,42	0,05
Fosfatase ácida	µg PNF.g ⁻¹ .h ⁻¹	655,3	58,9
β- glicosidase	µg PNG.g ⁻¹ .h ⁻¹	146,0	3,7
Microrganismos celulolíticos	Biológica	NMP.g ⁻¹	4,71E+07 32.621. 192
Microrganismos diazotróficos		7,96E+01	8,53
Taxa de germinação P.I. – areia	%	80	0,00
Taxa de germinação P.I. – 1%		90	0,00
Germinação plantas daninhas	Sanitária	Presença ou ausência	Ausência
Coliformes totais			

*pH em CaCl₂ 0,01 M: determinação potenciometria; Densidade: m/v; Umidade 60-65°C determinação por umidade; Carbono Orgânico: oxidação dicromato seguido de titulação; Nitrogênio total: digestão sulfúrica (Kjeldahl); P₂O₅: determinação por espectrofotômetro pelo método com a solução de vanadomolibdica; K₂O: fotometria de chama; Enxofre: gravimétrico de sulfato de bário; Silício: Korndörfer *et al.* (2004); Cálcio e Magnésio: extração com HCl por espectrofotômetro de absorção atômica; Relação C:N: cálculo; CTC efetiva: Brasil (2017); Matéria Orgânica Total: combustão em Mufla (ALCARDE, 2009); AH e AF: Benites *et al.* (2003). Coliformes totais e fecais: kit COLItest® realizado conforme as especificações do fabricante. Determinação de presença ou ausência de plantas daninhas por testes de germinação conduzidos em ambiente controlado; Fosfatase ácida e beta-glicosidase: Tabatabai (1994); Microrganismos: Kasana *et al.* (2008) e Döbereiner *et al.* (1995); Taxa de germinação de plantas indicadoras conduzida com experimentos em microcosmos em ambiente controlado utilizando sementes de alfafa.

Legenda: CTC (Capacidade de Troca de Cátions); DP (desvio padrão); NMP (número mais provável); P. I. (plantas indicadoras); PNF (Paranitrofenil fosfato); PNG (p-nitrofenil-β-D-glicosídeo).

Fonte: Os autores.

Além disso, em relação às enzimas β-glicosidase e fosfatase ácida e microrganismos diazotróficos, este estudo revela menores resultados que o encontrado por Höfig *et al.* (2022) em trabalho com composto oriundo de resíduos orgânicos e rochas moídas, mas diferenciando-se essencialmente por possuir serragem (14% da massa total) no lugar da silagem de milho, fosfato natural (16% da massa total) e rocha silicática calcixisto (9% da massa total) no lugar do fonolito. A enzima β-glicosidase é indicadora de qualidade biológica do solo (MENDES *et al.* 2021) e está relacionada com a ciclagem de matéria orgânica, especialmente celulose (PINHEIRO, 2021). A enzima fosfatase ácida está associada ao ciclo do fósforo e reveladora da alta atividade de microrganismos mineralizadores de fósforo (Zago *et al.*, 2020). Já os microrganismos diazotróficos são fixadores de nitrogênio atmosférico (Sousa *et al.*, 2020). Leal *et al.* (2021) apontam que as bactérias fixadoras de nitrogênio são consideradas como um dos grupos de maior importância na agricultura tropical. Nessa mesma comparação, o presente estudo apresentou maiores valores de microrganismos celulolíticos, que 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).

Ademais, na Tabela 3 estão expostos alguns parâmetros de qualidade de um composto orgânico. Sua qualidade 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).

Foram atingidos os índices de qualidade da CTC efetiva, pH CaCl_2 , relação C:N, umidade, teor de nitrogênio, índice de germinação de sementes e temperatura, mas não foi alcançado o parâmetro de qualidade para relação AH:AF. Ainda assim, o produto exibiu as garantias mínimas para ser enquadrado como fertilizante orgânico composto classe A, já que possui as matérias primas para tal, apresentou umidade menor que 50%, relação C:N menor que 20 e teor de nitrogênio maior que 0,5% (MAPA, 2020).

Sendo assim, apenas a relação AH:AF não foi atingida. Tal relação 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). Entretanto, em nosso estudo, intencionalmente não 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 no solo, sendo entendido o valor da relação AH:AF próximo de 1 como o indicado para compostos tropicais (Höfig; Martins, 2025), o que sugere que, considerando apenas esse parâmetro, em nosso estudo, a compostagem poderia ter sido encerrada antes. Contudo, Bernal *et al.* (1996) constata que não é possível estabelecer um valor universal para descrever e prever o grau de maturação de compostos com composições distintas. Garcia-Gómez *et al.* (2005) encontram valor da relação AH:AF que variam 0,5 e 2,0 de acordo com o composto avaliado. Já Francou *et al.* (2005) diagnosticaram variações entre 1,2 e 4,3 em diferentes materiais compostados.

Magalhães *et al.* (2021), por exemplo, consideraram o composto produzido com resíduos da agroindústria do palmito pronto com 45 dias. Isto é, trata-se de um de composto estabilizado (Epstein, 1997), após ultrapassar a fase termofílica (Berton *et al.*, 2021), mas não maturado, o

que tem sido definido como composto tropical (Teixeira, 2024), porque as moléculas mais facilmente biodegradáveis que ainda existem serão mineralizadas pelos microrganismos do solo (Ramírez; Matos, 2022) e isso acontece de forma muito mais rápida em clima tropical quando comparado à realidade de clima temperado. Höfig *et al.* (2022) utilizaram a mesma estratégia visando, por exemplo, maior rendimento do composto em toneladas de matéria seca e menores perdas de N e C.

Ao contrário da compostagem clássica, que foi pensada para utilização da fermentação microbiana para eliminar dois terços dos resíduos, o protocolo da compostagem tropical, mais rápida, preserva mais de dois terços do volume inicial de materiais submetidos ao processo, já que entende esses materiais como produto. Neste sentido, com ingredientes frescos e de qualidade, receita física, química e biologicamente equilibrada e condução adequada do processo, com monitoramento diário de cheiro, umidade e aeração, é possível realizar uma compostagem tropical rápida e controlada. Isso gera no interior da massa condições adequadas à multiplicação de comunidades microbianas, responsáveis por uma fermentação aeróbica de qualidade superior, cujo os objetivos são: atingir tempo e temperaturas necessárias à inviabilização dos fitopatógenos, sementes de plantas e substâncias tóxicas presentes nos materiais iniciais; fornecer ao solo substâncias orgânicas diversas, melhoradoras das suas propriedades físico-químicas; facilitar à diversidade de organismos do solo, a digestão dos alimentos, ao fornecê-los com sua qualidade preservada e em diferentes graus de decomposição; inocular no solo, de forma abundante, comunidades microbianas benéficas (Teixeira, 2024).

Tabela 3 - Padrão de referência de qualidade dos atributos do composto

Dentro do padrão de referência?	Parâmetro de qualidade	Padrão de referência	Fonte
Não	Relação AH/AF	Próximo de 1	Höfig; Martins, 2025
Sim	Índice de germinação de sementes	> 80%	Buchanan <i>et al.</i> , 2001
Sim	CTC efetiva	> 100 mmol _c /kg	Kiehl, 2004
Sim	pH CaCl ₂	> 5,5	MAPA, 2005
Sim	Teor de Nitrogênio	> 0,5%	
Sim	Umidade	< 50%	MAPA, 2020
Sim	Carbono Orgânico	>15%	
Sim	Relação C/N	< 20	
Sim	Temperatura	14 dias > 55°C ou 3 dias > 65°C	Brasil, 2017

Fonte: Os autores.

No tocante à variação dos teores dos elementos químicos na matéria prima inicial do composto e do produto final, aconteceu a redução do teor de matéria da orgânica (Tabela 4). Com o aquecimento da massa enleirada, grande parte da matéria orgânica é perdida, principalmente na forma de CO₂ e água. Neste sentido, também se notou a diminuição do teor de nitrogênio, mas abaixo do limite aceitável de 20% (Koepf *et al.*, 1983). Curtis *et al.* (2023) constataram que a adição de 30% de pó de basalto na cama de frango foi o tratamento que apresentou menor perda de nitrogênio. Já em estudo com pó de gnaiss vermicompostado, Souza *et al.* (2018) concluíram que o remineralizador melhora as propriedades químicas do vermicomposto.

Tabela 4. Variação dos teores totais dos elementos químicos na matéria prima inicial e no produto final

Elementos	Inicial*	Final**	Variação (%)
Nitrogênio	1,38	1,18	86,00
P ₂ O ₅	0,00	0,74	174,00
K ₂ O	6,45	1,92	29,82
Cálcio	3,47	2,65	76,40
Magnésio	0,47	0,34	71,18
Enxofre	1,12	0,62	55,46
Silício	7,12	10,47	146,94
MOT	70,00	29,65	42,36

* Com exceção do Nitrogênio (N) e Matéria Orgânica Total (MOT), o extrator utilizado para determinação nos resíduos orgânicos e no gesso foi ácido clorídrico. Para N e MOT, foi usado o ácido sulfúrico. No pó de rocha do fonolito, utilizou-se determinação por fluorescência de raio-x.

** Nitrogênio total digestão sulfúrica (Kjeldahl); Fósforo (P₂O₅) determinação por espectrofotômetro pelo método com a solução de vanadomolibdica; Potássio (K₂O) fotometria de chama; Enxofre (S) gravimétrico de sulfato de bário; Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) extração com HCl por espectrofotômetro de absorção atômica; Silício (Si) Korndörfer *et al.*, (2004).

Fonte: Os autores.

O fósforo, que não foi encontrado na análise das matérias primas, apareceu no composto final, o que demonstra que os materiais orgânicos possuíam este elemento e que este foi disponibilizado pela ação da enzima fosfatase ácida. O silício, como não foi avaliado nas análises dos resíduos orgânicos, aumentou no produto final. Contudo, o silício da rocha possivelmente foi liberado pela intemperização do pó de rocha de fonolito. Meena *et al.* (2016) destacam que tanto as bactérias quanto os fungos podem atuar como microrganismos solubilizadores, acelerando a dissolução dos minerais e a solubilização do Si de minerais como ortoclásio, mica e illita.

Em relação às bases, a lixiviação pode ter sido uma das causas das perdas de nutrientes, considerando que grande parte dos nutrientes se encontra na forma solúvel, o que poderia ser uma das principais responsáveis pela variação dos dados encontrados na literatura (Orrico Júnior,

et al., 2012). Porém, tendo a compostagem sido conduzida nesse estudo com um manejo adequado e fora do período de chuvas, acredita-se que não ocorreu a disponibilização total dos nutrientes devido à constituição mineralógica dos materiais utilizados. A muscovita tende a fornecer potássio no longo prazo (Tardy; Duplay, 1992; Wieland *et al.*, 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. Logo no início da compostagem o pH tende a cair, devido à formação de ácidos orgânicos (Valente *et al.*, 2009). Espera-se que este decréscimo no pH 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 demonstram a ação destes ácidos na dinâmica de liberação de potássio de minerais (Song; Huang, 1988) e pela acidificação do meio (Stillings; Brantley, 1995).

Neste sentido, mesmo com a diminuição relativa do potássio causada pela lixiviação da parte solúvel ou por sua mineralogia, provavelmente a compostagem disponibilizou parte do K_2O . No entanto, percebe-se que o composto final apresentou valor semelhante de K_2O que o composto de Höfig *et al.* (2023), com os mesmos resíduos orgânicos, mas com a presença da rocha moída micaxisto, de menor teor de K_2O . O fonolito, de granulometria com menos que 80% passante na peneira de abertura de 0,3 mm, dificulta o aproveitamento dos nutrientes (Martins *et al.*, 2023). A granulometria do remineralizador afeta sua superfície específica e sua reatividade (VIDIGAL *et al.*, 2023). Sabe-se que o maior aproveitamento de K_2O geralmente define a melhor relação custo/benefício.

Meena *et al.* (2016) destacam que tanto as bactérias quanto os fungos podem atuar como microrganismos solubilizadores de potássio, por meio da liberação de ácidos orgânicos de pequeno peso molecular, principalmente ácido cítrico e ácido oxálico, acelerando a dissolução dos minerais e a solubilização do potássio de minerais como ortoclásio, mica e ilita. Kour *et al.* (2020) apontam que a produção de ácidos orgânicos fortes é um mecanismo importante na solubilização de minerais potássicos como mica, biotita, muscovita, feldspato, ilita e ortoclásio.

Em relação ao Ca e ao Mg, além da possível perda por lixiviação, nota-se maior liberação de Ca do que de Mg. Estes dois nutrientes foram mais disponibilizados que o potássio. Os

carbonatos são reconhecidamente reativos, promovem correção de acidez e fornecem cálcio e magnésio (Tardy; Duplay, 1992; Wieland *et al.*, 1988).

4 CONCLUSÕES

Com o presente estudo, chegou-se às seguintes conclusões:

- A presença de 25% de rocha moída não atrapalhou a compostagem;
- A relação AH:AF sugere que a compostagem poderia ter sido encerrada antes de acordo com este parâmetro para a compostagem tropical;
- Foi produzido um composto que pode ser enquadrado como Fertilizante Orgânico Composto classe A, de acordo com a legislação brasileira;
- O fonolito, de granulometria com menos que 80% passante na peneira de 0,3 mm, dificultou o aproveitamento dos nutrientes;
- A compostagem disponibilizou parte dos nutrientes que estavam retidos em forma de silicatos e carbonatos. O Ca foi o elemento mais disponibilizado, seguido pelo Mg e, depois, K₂O;

REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J.C. **Manual de análise de fertilizantes**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiróz”, 2009, 259p.
- AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. 14^a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 350 p.
- BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. de A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003.
- BERNAL, M. P.; NAVARRO, A., F.; ROIG, A.; CEGARRA, J.; GARCIA, D., E. Carbon and nitrogen transformations during composting of sweet sorghum bagasse. **Biology and Fertility Soils**. v.22, p.141-148, 1996.
- BERTON, R. S.; CHIBA, M. K.; COSCIONE, A. R., ABREU, M. F. da; NASCIMENTO, A. L. **Compostagem para fins agrícolas**. Campinas/SP: Instituto Agrônomo de Campinas, 2021. 116 p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. 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. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=728>
- BUCHANAN, M.; BRINTON, W.; SHIELDS, F.; THOMPSON, W. **Compost maturity index**. Nevada City, CA: California Compost Quality Council, 2001.
- CALDEIRA, M. V. W.; H., R., M. P.; TAVARES, L., B. B.; SPERANDIO, H. V.; PILON, L., C. Maturidade de composto orgânico de resíduos de abatedouro de frangos, **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 2, p 149-155, abr-jun, 2012.
- CHO, Y. **Agricultura orgânica JADAM: o caminho para uma agricultura de ultrabaixo custo**. Yuseonggu, Daejeon, República da Coréia: JADAM, 2018.
- CURTIS, J. C. D.; LUCHESE, A. V.; MISSIO, R. F. Evaluation of microbial activity, N-NH₃ and CO₂ losses in poultry litter treated with basalt rock powder. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture** (2023)12: 25-35.
- DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. **Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não leguminosas**. Brasília: Embrapa SPI, 1995. 60p.
- EPSTEIN, E. **The Science of Composting**. Florida, USA: CRC Press LLC, p. 502, 1997.
- FEIDEN, A. **Conceitos e Princípios para o Manejo Ecológico do Solo**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, dez. 2001. 21 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 140).
- FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B. da; CASTILHOS, Z. C. (Eds.) **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 380 p.

FRANCOU, C.; POITRENAUD, M.; HOUOT, S. Stabilization of organic matter during composting: influence of process and feedstocks. **Compost. Sci. Util.**, v. 13, p. 72-83, 2005.

GARCIA-GÓMEZ, A.; BERNAL, M. P.; ROIG, A. Organic matter fractions involved in degradation and humification processes during composting. **Compost. Sci. Util.**, v 13, p 127-135, 2005.

GERKE J. Concepts and Misconceptions of Humic Substances as the Stable Part of Soil Organic Matter: A Review. **Agronomy**, v. 8(5), 76, 2018. DOI: 10.3390/agronomy8050076

HARLEY, A. D.; GILKES, R. J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. 56:11-36. 2000.

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

HÖFIG, P.; MARTINS, E. de S. Avaliação de um fertilizante produzido com compostagem de fontes regionais de nutrientes. **Estrabão**, v. 4, 2023a

HÖFIG, P.; MARTINS, E. de S.; BROETTO, T.; GIASSEN, E.; ARANTES, B. S. Efeitos de diferentes proporções de rochas moídas no processo de compostagem. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 3, p. 133-153, 2023b.

HÖFIG, P.; MARTINS, E. de S.; BROETTO, T.; GIASSEN, E.; SILVA, G. 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** ISSN 2176-9168 (On-line), v. 15, n. 3, 2022.

HÖFIG, P.; MARTINS, E. de S. Remineralizadores do solo: interação com fontes orgânicas pela compostagem tropical. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2025. 62 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 415).

IGLESIAS-JIMENEZ, E.; PEREZ-GARCIA, V. Determination or maturity índices for city refuse composts. **Agr. Ecosyst. Environ.**, v. 38: p. 331-343, 1992.

JIMENEZ-GÓMEZ, S. **Fertilizantes de Liberación Lenta**. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. 146p.

KASANA, R. C.; SALWAN, R.; DHAR, H.; DUTT, S.; GULATI, A. A rapid and easy method for the detection of microbial celulasas on agar plates using gram`s iodine. **Current Microbiology**, London, v. 57, p. 503-507, 2008.

KATTOOF, S. F.; EL-GHAMRY; FOUDA, K. F.; EL-EZZ, F. A. Organic Fertilizers Derived from Farm By-Products for Sustainable Agriculture. – A Review. **J. of Soil Sciences and Agricultural Engineering, Mansoura Univ.**, Vol 10 (12), p. 815-819, 2019.

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

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2004. 34p. (Boletim técnico, 2).

KOEPPF, H. H.; PETTERSSON, B. D.; SCHAUMANN, W. **Agricultura biodinâmica**. São Paulo: Nobel, 1983.

KOUR, D.; RANA, K. L.; KAUR, T.; YADAV, N.; HALDER, S. K.; YADAV, A. N.; SACHAN, S. G.; SAXENA, A. K. Potassium solubilizing and mobilizing microbes: Biodiversity, mechanisms of solubilization, and biotechnological implication for alleviations of abiotic stress. In: RASTEGARIA, A. A.; YADAV, A. N.; YADAV, N. **New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering**, Elsevier, 2020.

KRAHL, L. L.; MARCHI, G.; PAZ, S. P. A.; ANGÉLICA, R. S.; SOUSA-SILVA, J. C.; VALADARES, L. F.; MARTINS, É. de S. Increase in cation Exchange capacity by the action of maize rhizosphere on Mg or Fe biotite-rich rocks, **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 52, 2022.

LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.H.; ASSAD, M.L. Remineralization for sustainable agriculture: A tropical perspective from a Brazilian viewpoint. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, p. 3-9, 2000.

LEAL, M. L. de A.; CHAVES, J. da S.; SILVA, J. A. da; SILVA, L. S. da; SOARES, R. B.; NASCIMENTO, J. P. S. do; MATOS, S. M. de; TEIXEIRA JÚNIOR, D. L.; BRITO NETO, A. F. de. Effect of management systems and land use on the population of soil microorganisms. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 9, p. e21910917966, 2021.

MAGALHÃES, W. L. E.; SÁ, F. P.; BELNIKI, A. C.; LIMA, E. A. de. **Composto produzido com resíduos da agroindústria do palmito pupunha**. Colombo: Embrapa Florestas, 2021. 8 p. (Embrapa Florestas. Comunicado Técnico, 473).

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. 2005. Instrução Normativa nº. 23, de 31 de agosto de 2005. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Diário Oficial, Seção 1, p.12.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa 61, de 08 de julho de 2020. Normatização dos fertilizantes orgânicos e biofertilizantes. Brasília, DF. Diário Oficial da União, Seção 1, p. 5.

MARTINAZZO, R.; BERGMANN, M.; SILVEIRA, C. A. P.; BAMBERG, A. L.; TORRES, D. P.; SANDER, A. **Micronutrientes e metais pesados em agrominerais: caracterização de rochas do escudo sul-rio-grandense e da Bacia do Paraná**. Pelotas, Embrapa Clima Temperado, Série Documentos, 488, 49 p, 2020.

MARTINS, É. De S.; MARTINS, E. de S.; HARDOIM, P. R. Princípios geoquímicos, mineralógicos e biológicos do manejo de remineralizadores de solos. **Informe Agropecuário**. Remineralizadores e a fertilidade do solo, Belo Horizonte, v. 44, n. 321, 2023.

MEDEIROS, F. de P.; CARVALHO, A. M. X. de; CARDOSO, I. M. Compostos e vermicompostos enriquecidos com pós de rochas. **Informe Agropecuário**. Bioinsumos: das biofábricas à produção nas propriedades rurais, Belo Horizonte, v. 44, n. 322, 2023.

MEENA, V. S.; MAURYA, B. R.; VERMA, J. P.; MEENA, R. S. **Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture**. New Dehli: Springer India, 2016.

MELAMED, R., GASPAR, J. C., & MIEKELEY, N. **Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais**. Fertilizantes: Agroindústria e Sustentabilidade. Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 385–395, 2009.

MENDES, I.C.; SOUSA, D.M.G.; DANTAS, O.D.; LOPES, A.C.; REIS JÚNIOR, F.B.R.; OLIVEIRA, M.I.; CHAER, G.M. Soil quality and grain yield: A win–win combination in clayey tropical Oxisols, **Geoderma**, Volume 388, 2021.

MONTGOMERY, D. R. **Erosão: dos solos às civilizações**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2021.

NAIR, K. P. Soil fertility and nutrient management. In: NAIR, K. P. **Intelligent soil managment for sustainable agriculture: the nutrient buffer power concept**. Cham: Springer, 2019. cap. 17. p. 165-189.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JUNIOR, J. de; SAMPAIO, A. A. M.; FERNANDES, A. R. M.; OLIVEIRA, E. A. de. Compostagem dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 5, p. 1301-1307, 2012.

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

PERES, F. C.; HIRONAKA, G. M. F. N.; CANZIANI, J. R.; GUIMARÃES, V. di A.; OLIVEIRA, M. M. C. de. **O programa empreendedor rural**. Curitiba: SEBRAE/PR e SENAR/PR, 2010.

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

PRIMAVESI, A. **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.

RAMÍREZ, V.S.; MATOS, A.T. Influência da textura do solo receptor e das condições climáticas e ambientais na taxa e fração de mineralização da matéria orgânica no solo, **Eng Sanit Ambient**, v.27, n.2, mar./abr. 2022, p. 315-323

RIFFALDI, R.; LEVI-MINZI, R.; SAVIOZZI, A.; CAPURRO, M. Evaluating garbage compost. **Biocycle**, 33, 66- 69, 1992.

SANTOS, L.C.; SILVA, G.A.M.; ABRANCHES, M.O.; ROCHA, J.L.A.; SILVA, S.T.A.; RIBEIRO, M.D.S.; GOMES, V.R.; SEVERO, P.J.S.; BRILHANTE, C.L.; SOUSA, F.Q. The role of silicon in plants. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 7, p. e3810716247, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i7.16247.

SILVA, V. N.; SILVA, L. E. de S. F. da; SILVA, A. J. N. da; STAMFORD, N. P.; MACEDO, G. R. Solubility curve of rock powder inoculated with microorganisms in the production of biofertilizers. **Agriculture and Natural Resources**, v. 51, n. 3, 2017.

SONG, S.K. and HUANG, P.M., Dynamics of Potassium Release from Potassium-Bearing Minerals as Influenced by Oxalic and Citric Acids. **Soil Science Society of America Journal**, 52: 383-390, 1998.

SOUSA, L. B.; SILVA, V. S. G. da; FREITAS, M. C.; 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, **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 9424-9430, feb. 2020.

SOUZA, M. E. P.; CARDOSO, I. M.; CARVALHO, A. M. X. de; LOPES, A. P.; JUCKSCH, I.; JANSSEN, A. Rock powder can improve vermicompost chemical properties and plant nutrition: an on-farm experiment. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 49, n. 1, 2018.

STILLINGS, L.L. & BRANTLEY, S.L. Feldspar dissolution at 25 °C and pH 3.: Reaction stoichiometry and the effect at cations. **Geochim. Cosmochim. Acta**, 59:1483-496, 1995.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W. *et al.* (ed.). **Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties**. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison. p. 778–833, 1994.

TARDY, Y.; DUPLAY, J. A method of estimating the Gibbs free energies of formation of hydrated and dehydrated clay minerals. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 56, 3007-3029, 1992.

TAVARES, L.F., de CARVALHO, A.M.X., CAMARGO, L.G.B.; PEREIRA, S. G. de F.; CARDOSO, I. M. Nutrients release from powder phonolite mediated by bioweathering actions. **Int J Recycl Org Waste Agricult**, 7, 89–98, 2018. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0194-x>

TEXEIRA, A. Estratégia de uso de compostos. In: **Guia de desenvolvimento de práticas para uma agricultura climaticamente inteligente**: benefícios ao solo, água e clima. ALMEIDA, F. S.; SANTOS, M. C. dos (Org.). Patrocínio (MG): Consórcio Cerrado das Águas, 2024.

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

UROZ, S.; KELLY, L.C.; TURPAULT, M.-P.; LEPLEUX, C.; FREY-KLETT, P. The mineralosphere concept: mineralogical control of the distribution and function of mineral-associated bacterial communities. **Trends in Microbiology**, v. 23, p. 751-762, 2015.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E. G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM-JÚNIOR, B. de S.; CABRERA, B. R.; MORAES, P. de O.; LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Arch. Zootec.** v. 58, p. 59-85, 2009.

VIDIGAL, S. M.; VIANA, J. H. M.; SANTANA, D. P.; ANDRADE, A. T. Remineralizadores: aspectos técnicos, riscos e oportunidades. **Informe Agropecuário.** Remineralizadores e a fertilidade do solo, Belo Horizonte, v. 44, n. 321, 2023.

WIELAND, E.; WEHRLI, B.; STUMM, W. The coordination chemistry of weathering. III. A generalization on the dissolution rates of minerals. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Oxford, v. 52, p. 1969-1981, 1988.

WISTINGHAUSEN, C. von; SCHEIBE, W. HEILMANN, H. WISTINGHAUSEN, E. von; KÖNIG, U. J. **Manual para o uso dos preparados biodinâmicos.** São Paulo: Antroposófica, 2000.

XIAO, B.; LIAN, B.; SHAO, W. Do bacterial secreted proteins play a role in the weathering of potassium-bearing rock powder? **Geomicrobiology Journal**, v. 29, n. 6, 2012.

ZAGO, L.M.S.; RAMALHO, W.P.; SILVA-NETO, C.M.; CARAMORI, S.S. Biochemical indicators drive soil quality in integrated crop-livestock-forestry systems. **Agroforest systems.** v. 94, p. 2249-2260, 2020.