

COMUNICADO TÉCNICO - Nº 24

DOI: 10.36524 / 978-65-5331-134-3



PREPARO DE PRÉ-COMPOSTAGEM COM LODO DA INDÚSTRIA DE CAFÉ SOLÚVEL



INSTITUTO FEDERAL
Espírito Santo
Campus de Alegre

João Medeiros Neto
Savio Da Silva Berilli
Luiz Fernando Favarato
Otacílio José Passos Rangel
Rogério Carvalho Guarçoni
Rafael Mantovaneli Souza



PPGA
Programa de
Pós-Graduação
em Agroecologia

Alegre, ES
11/2025

Reitor: Jadir José Pela

Pró-Reitor de Administração e Orçamento: Lezi José Ferreira

Pró-Reitor de Desenvolvimento Institucional: Luciano de Oliveira Toledo

Pró-Reitora de Ensino: Adriana Pionttkovsky Barcellos

Pró-Reitor de Extensão: Renato Tannure Rotta de Almeida

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação: André Romero da Silva

Coordenador da Edifes: Adonai José Lacruz

Conselho Editorial

Aldo Rezende * Ediu Carlos Lopes Lemos * Felipe Zamborlini Saiter * Francisco de Assis Boldt * Glória Maria de F. Viegas Aquije * Karine Silveira * Maria das Graças Ferreira Lobino * Marize Lyra Silva Passos * Nelson Martinelli Filho * Pedro Vitor Morbach Dixini * Rossanna dos Santos Santana Rubim * Viviane Bessa Lopes Alvarenga

Revisão de texto:	Projeto gráfico:	Diagramação:	Capa:	Imagem de capa:
Savio Da Silva Berilli;	João Medeiros Neto	João Medeiros Neto	João Medeiros Neto	João Medeiros Neto

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecário/a: Natália Gomes de Souza Mendes - CRB6/ES nº 993

M488p Medeiros Neto, João.

Preparo de pré-compostagem com lodo da indústria de café solúvel [recurso eletrônico] / João Medeiros Neto; – Vitória: Edifes Acadêmico, 2025.

22 p. : il. ; 30 cm.

Vários autores.

ISBN: 978-65-5331-134-3

Formato: E-book PDF (livro digital)

Veiculação: digital

1. Resíduo industrial na agricultura. 2. Pré-compostagem. 3. Café solúvel. I. Programa de Pós-graduação em Agroecologia. II. Título.

CDD 23: 628.44

DOI: 10.36524/9786553311343

Esta obra está licenciada com uma Licença Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Brasil.



Preparo de Pré-Compostagem com Lodo da Indústria de Café Solúvel

João Medeiros Neto, Biólogo, Mestrando em Agroecologia, Técnico em Desenvolvimento Rural - INCAPER, Alfredo Chaves, ES. E-mail: joaoneto.jmnmn@gmail.com

Savio Da Silva Berilli, Engenheiro Agrônomo, Dr. em Produção Vegetal, Prof. Instituto Federal do Espírito Santo, Alegre, ES. E-mail: savio.berilli@ifes.edu.br

Luiz Fernando Favarato, Engenheiro Agrônomo, D.Sc. Fitotecnia. Coordenador do CDPI Serrano – INCAPER, Centro Serrano, ES. E-mail: lffavarato@gmail.com

Otacílio José Passos Rangel, Engenheiro Agrônomo, Dr. em Solos e Nutrição de Plantas. Professor – Instituto Federal do Espírito Santo, Alegre, ES. E-mail: ojprangel@ifes.edu.br

Rogério Carvalho Guarçoni, Dr. em Ciências. Pesquisador - INCAPER, Centro Serrano, ES. E-mail: rogerio.guarconi@gmail.com

Rafael Mantovaneli Souza, Bacharel em Química, Dr. Em Química. Técnico de Laboratório - Instituto Federal do Espírito Santo, Alegre, ES. E-mail: rafaelmantovaneli@hotmail.com

Introdução

O café é um importante produto agrícola, destacando-se como um dos mais importantes, tanto nos aspectos sociais, quanto econômicos, sobressaindo-se entre as cinco commodities agrícolas mais comercializadas no mundo (BENEDITO et al., 2023). No século 20, o café era a segunda mercadoria mais comercializada, sendo superado apenas pelo petróleo (MISHRA; SLATER, 2012). Este aspecto permitiu que vários países, incluindo a Colômbia, passassem por um rápido desenvolvimento econômico, de forma a consolidarem sua economia em torno da produção de café (BENAVIDES et al., 2023). Em todo o mundo são consumidas diariamente 2,25 bilhões de xícaras de café (MAGHULY et al., 2020). No entanto, o padrão de consumo desta bebida passa por constantes modificações, pois têm sido incluídos novos conceitos relacionados às formas de preparo e consumo, fazendo com que os consumidores possam optar entre centenas de combinações (blends) disponíveis, inclusive, o cunho social ou ambiental envolvido em seu processo produtivo (FERRÃO et al., 2017).

Das 124 espécies catalogadas do gênero *Coffea*, a quase totalidade do café consumido no mundo é representado pelo *Coffea canephora* (café conilon e robusta) juntamente com *Coffea arabica* (café arábica) (CLEMENTE, 2022), sendo as duas espécies distintas quanto aos aspectos agrônômicos, bioquímicos e sensoriais dos grãos, sua abrangência de mercado e utilização dos produtos, no entanto, verifica-se em ambas as espécies uma demanda cada vez maior, sobretudo, por cafés de qualidade superior (FERRÃO et al., 2017). Diferentes metodologias têm sido utilizadas no desenvolvimento de cafés com propriedades químicas, nutricionais e sensoriais de qualidade (EVANGELISTA et al., 2015; PEREIRA et al., 2020), e embora o café seja exportado principalmente em grãos verdes, o comércio de café solúvel tem crescido nos últimos anos e já representa uma porcentagem significativa do mercado (SHOUP, 2020).

No mundo, o consumo de café solúvel gera anualmente cerca de 22 mil toneladas de borra de café (LIMA, 2019) e, qualquer metodologia de produção utilizada para fazer café solúvel, também gera água residuária, de composição complexa, constituída por moléculas de alto peso molecular e material orgânico que se descartados de forma inadequada no meio ambiente apresenta potencial de contaminação elevado (BEJANKIWAR et al., 2003; NOVITA, 2016; RIGUETO et al., 2020).

Estudos vem sendo realizados com o resíduo da indústria de café solúvel, sendo utilizado como matéria-prima para realização de diversas atividades, como para produção de biodiesel (CAETANO et al., 2012), fonte de açúcares (MUSSATTO et al., 2011a), carvão ativado (KANTE et al., 2012; PAPPA et al., 2012; REFFAS et al., 2010; TSAI et al., 2012) composto orgânico (PREETHU et al., 2007) e como solvente para remoção de íons metálicos (FIOL et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2008).

Dentre essas tecnologias, a compostagem do lodo produzido na indústria de café solúvel se destaca como opção de tratamento ambiental, social e economicamente adequado, proporcionando a obtenção de nutrientes e matéria orgânica reconstituída para posterior utilização agrícola, inclusive no cultivo do cafeeiro, sendo promissor na redução do potencial poluidor (WONG et al., 2011; BATISTA, 2015; WANG, 2021). A destinação dos resíduos agroindustriais tem sido um aspecto de crescente preocupação, principalmente devido aos problemas ambientais, sendo necessários estudos e pesquisas sobre sua composição para ampliação do espectro de usos dos mesmos (VEGROII, 1994; FRANCA; OLIVEIRA, 2022).

A compostagem possibilita a estabilização biológica de resíduos de diversas origens, podendo ser utilizados como fonte de nutrientes para as culturas (ANDRADE et al., 2021), proporcionando efeitos benéficos na melhoria da fertilidade do solo (HECK et al., 2013; MOTA et al., 2019), enriquecendo-o com microrganismos promotores de crescimento das plantas, aumentando os benefícios agrícolas e ambientais de composto orgânico (SOUZA et al., 2018).

Portanto, este Comunicado Técnico tem como objetivo propor a melhor proporção de lodo de café solúvel em pré-compostagem, sendo uma proposta sustentável para utilização do resíduo industrial na agricultura.

Material e Métodos

O experimento de pré-compostagem foi desenvolvido na Usina de Pré-compostagem Real Café, localizada na Fazenda Experimental de Viana (FEV) pertencente ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), localizada em Viana, ES, nas coordenadas 20°22'23"S; 40°30'58"O (Figura 1).



Figura 1. Visão geral do local de realização do experimento.
Fonte: Adaptado de Google Earth (2024).

Os materiais primários utilizados para pré-compostagem foram a maravalha, a cinza e o lodo de café solúvel (Figura 2).



Figura 2. Processo de preparo da pré-compostagem com maravalha, cinza e lodo de café solúvel. A: Adição de maravalha; B: Adição de cinza por cima da maravalha; C: Adição de lodo da indústria de café solúvel.

Fonte: Os autores.

A maravalha, são aparas de madeira com partículas maiores, mais grossas que a serragem, adquirida de empresa moveleira da região. A cinza utilizada foi obtida do processo de queima da borra de café, um resíduo que fica dentro do secador após o processamento do café solúvel. Esse resíduo é queimado na caldeira junto com cavacos de eucalipto para gerar energia necessária para a operação da fábrica de café solúvel, com ausência de aditivos químicos. E por fim, o lodo de café solúvel foi obtido da Estação de Tratamento de Efluentes da Indústria de café solúvel, a qual pode conter aditivos químicos residuais da indústria, como por exemplo o hidróxido de sódio. Vale salientar que os resíduos de esgoto sanitário dos funcionários dessa indústria também são tratados juntamente com os resíduos da indústria de café solúvel, fazendo parte do material final tratado. Na estação é adicionado policloreto de alumínio e polímero catiônico para separação das partículas sólidas e da fração líquida. O resíduo sólido passa pela centrífuga a qual é desidratado e gera o lodo que aqui denominamos de LICs (lodo da indústria de café solúvel). A caracterização do lodo de café, da maravalha e da cinza encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização dos materiais utilizados na compostagem.

Parâmetros	Unidade	Lodo de café	Maravalha	Cinza
------------	---------	--------------	-----------	-------

Umidade	%	29,52	-	-
pH	%	7,05	-	-
Matéria orgânica total	%	81,76	-	-
Matéria orgânica compostável	%	78,30	-	-
Carbono orgânico	%	43,50	-	-
Relação C/N	%	12/1	-	-
Nitrogênio	%	3,56	0,27	0,06
Fósforo	mg Kg ^c	857,49	25,45	872,77
Potássio	mg Kg ⁻¹	1067,35	657,6	5862,10
Cálcio	mg Kg ⁻¹	4520,12	692,21	20057,3
Magnésio	mg Kg ⁻¹	810,51	92,71	2457,85
Enxofre	mg Kg ⁻¹	1103,30	0	1490,37
Ferro	mg Kg ⁻¹	3386,25	127,57	4563,91
Zinco	mg Kg ⁻¹	31,52	0,56	63,17
Cobre	mg Kg ⁻¹	58,23	0	357,56
Manganês	mg Kg ⁻¹	157,41	41,81	1078,94
Boro	mg Kg ⁻¹	0	0	0

Fonte: Os autores.

A proporção de lodo da indústria de café solúvel, cinza e maravalha, utilizados como materiais na pré-compostagem foi de 2.181,00 Kg de LICs, 428,25 Kg de Cinza e 223,2 Kg de Maravalha, que representa a proporção de 3:2:1 dos respectivos materiais primários.

No preparo da pré-compostagem foram montadas pilhas de 40 m³ com vinte repetições das proporções de cada material utilizado, que foram distribuídos na pista do galpão coberto da usina para serem revolvidos por 7 horas diárias, até totalizar 50 horas de revolvimento.

Após a finalização da pré-compostagem foram avaliados as variáveis Nitrogênio (%), Relação C/N, Carbono Orgânico (%), Carbono Total (%), Umidade (%), pH, Condutividade μ s T=22°C, Fósforo (P) (%), Potássio (K) (%), Enxofre (S) (%), Cálcio (Ca) (%), Magnésio (Mg) (%), Sódio (Na) (%), Zinco (Zn) (mg/Kg⁻¹), Manganês (Mn) (mg/Kg⁻¹), Ferro (Fe) (mg/Kg⁻¹), Cobre (Cu) (mg/Kg⁻¹), Crômio (Cr) (mg/Kg⁻¹), Cádmio (Cd) (mg/Kg⁻¹), Níquel Ni) (mg/Kg⁻¹), Chumbo (Pb) (mg/Kg⁻¹) e Molibdênio (Mo) (mg/Kg⁻¹).

O monitoramento do pH foi realizado utilizando medidor portátil de pH de solo Modelo CJ-5000. A análise de umidade e série de sólidos foi realizada seguindo o procedimento descrito pela American Public Health Association – APHA (2012), e o teor de carbono orgânico e total foi obtido adaptando-se a metodologia proposta por CARMO e SILVA (2012).

A metodologia seguiu os seguintes passos: os cadinhos foram calcinados em mufla a 580 °C, por meia hora, em seguida foram pesados vazios em balança analítica e a massa (M0) anotada. Ainda com o cadinho sobre a balança, esta foi tarada e acrescentados 5 gramas do resíduo, anotando a massa P1. Os cadinhos foram colocados na estufa a 105 °C por 24

horas. Após esse período os cadinhos foram levados ao dessecador, e ao atingir a temperatura ambiente foi realizada a pesagem da massa P2. Os cálculos dos sólidos totais e da umidade foram feitos utilizando a Equação 1.

Equação 1:

$$U(\%) = \frac{(P1 - P0) - (P2 - P0)}{(P1 - P0)} \times 100$$

$$ST(\%) = \frac{(P2 - P0)}{(P1 - P0)} \times 100$$

Onde:

U (%): umidade, em porcentagem;

ST (%): sólidos totais, em porcentagem;

P0: massa do cadinho calcinado, em gramas;

P1: massa úmida da amostra + massa do cadinho, em gramas;

P2: massa seca da amostra + massa do cadinho, em gramas.

Os cadinhos com amostra seca foram colocados em forno tipo mufla e mantidos à temperatura de 580°C, por duas horas. Assim, foi obtida a massa de cinzas (P3). Portanto, foi calculado os sólidos voláteis e fixos a partir das equações 22 e 3.

Equação 2:

$$SV(\%) = \frac{(P2 - P0) - (P3 - P0)}{(P2 - P0)} \times 100$$

Equação 3:

$$SF(\%) = ST(\%) - SV(\%)$$

Onde:

SV (%): sólidos voláteis, em porcentagem;

ST (%): sólidos totais, em porcentagem;

SF (%): sólidos fixos, em porcentagem;

P0: massa do cadinho calcinado, em gramas;

P2: massa seca da amostra + massa do cadinho, em gramas;

P3: massa da amostra calcinada + massa do cadinho, em gramas.

O teor de carbono orgânico (CO) e carbono total (CT) foram calculados utilizando-se os valores de sólidos voláteis (SV), pois este apresenta uma estimativa da matéria orgânica biodegradável no resíduo (PEREIRA; FIALHO, 2013). As Equações 4 e 5 foram propostas por CARMO; SILVA (2012) para cálculo de CO e CT.

Equação 4:

$$CT (\%) = (0,463 \times SV) - 0,550$$

Equação 5:

$$CO (\%) = (0,425 \times SV) - 2,064$$

Para avaliação do nitrogênio total o método foi baseado na decomposição da matéria orgânica através da digestão da amostra a 400 °C com ácido sulfúrico concentrado, em presença de sulfato de cobre como catalisador que acelera a oxidação da matéria orgânica. O nitrogênio presente na solução ácida resultante foi determinado por destilação por arraste de vapor, seguida de titulação com ácido diluído (NOGUEIRA; SOUZA, 2005).

A amostra foi levada à estufa a 105°C por 24 horas. Após esse período a mesma foi triturada em moinho de facas modelo MA 340, marca Marconi. Foram colocados 0,03 a 0,04 g de cada amostra em tubos de Kjeldahl acrescido de 0,4 a 0,45 gramas de mistura digestora (mistura de 20 partes de sulfato de sódio anidro para uma de sulfato de cobre pentaidratado) e 0,65 mL Ácido sulfúrico (H_2SO_4 – d=1,84), p.a., concentrado. Os tubos foram colocados em bloco digestor, ligado inicialmente a 250 °C. Quando a temperatura atingiu 250° C, permaneceu por 1 hora e posteriormente elevada a 400 °C, de forma a permanecer por duas horas após atingir 400 °C.

Após o esfriamento dos tubos, foi acrescentado 10 mL de água destilada em cada tubo e as amostras foram destiladas por arraste de vapor utilizando um destilador Kjeldahl. Para a destilação foi adicionada para cada tubo 6,2 ml de hidróxido de sódio no destilador Kjeldahl e 1,25 mL de ácido bórico contendo o indicador no balão de Erlenmyer que recebeu a solução destilada. A solução destilada foi então titulada com ácido clorídrico 0,01 mol/L. O nitrogênio total foi obtido a partir da Equação 6.

Equação 6:

$$NT = \frac{(Va - Vb) \times F \times 0,01 \times 0,014 \times 100}{P1}$$

Onde:

NT – teor de nitrogênio total na amostra, em percentagem;

Va – volume da solução de ácido clorídrico gasto na titulação da amostra, em mililitros;

Vb – volume da solução de ácido clorídrico gasto na titulação do branco, em mililitros;

F – fator de correção para o ácido clorídrico 0,01 mol/L;

P1 – massa da amostra (em gramas).

Para a análise dos demais macronutrientes, micronutrientes e metais pesados foi seguido a metodologia de Sousa (2022). A decomposição das amostras foi realizada em forno digestor de micro-ondas. Para otimização do método de decomposição foi realizado um planejamento de misturas pseudocomponentes com restrições mínimas e máximas. A massa de amostra utilizada foi de 0,250 g. As variáveis que foram investigadas nesse planejamento foram os volumes de HNO_3 10,0 mol L^{-1} , HCl 12 mol L^{-1} e H_2O_2 30 % v v⁻¹. As restrições mínimas e máximas estabelecidas foram: 1,0-9,0 mL (2,7-6,0 mol L^{-1}) de HNO_3 , 0,0-3,0 mL (0,0-2,0 mol L^{-1}) de HCl e 1,0-3,0 mL (2,0-6,0 %) de H_2O_2 . Um volume de 5,0 mL de água ultrapura foi adicionado a cada um dos frascos, com o objetivo de diluir os reagentes. O volume total das soluções extratoras empregadas no preparo das amostras foi de 15 mL. Para determinação da condição ótima do método proposto, foi aplicada a resposta múltipla (RM) aos resultados obtidos para cada elemento (Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Mo, P, Pb, S e Zn) usando a concentração, de forma a converter as respostas individuais de cada analito em uma única resposta (BEZERRA et al., 2019). Essa RM foi calculada a partir da soma das concentrações normalizadas de cada um dos analitos investigados. As amostras foram decompostas utilizando aquecimento assistido por radiação microondas. Uma massa de amostras de 0,250 g foi pesada e, em seguida, foram adicionados 5,0 mL de HNO_3 10,0 mol L^{-1} , 2,0 mL de HCl 12 mol L^{-1} , 3,0 mL de H_2O_2 30 % v v⁻¹ e 5,0 mL de água deionizada. Após a adição dos reagentes, os frascos foram deixados em repouso por 20 minutos, para pré-decomposição, sendo lacrados em seguida e submetidos a aquecimento.

Para fins comparativos, foi realizada a decomposição de material de referência certificado a partir do método preconizado pela norma US EPA 3051A, da Agência Ambiental Americana. Nesta decomposição, uma massa de 0,250 g do CRM foi pesada diretamente nos frascos do microondas. Posteriormente, 9,0 mL de HNO_3 14 mol L^{-1} e 3,0 mL de HCl 12 mol L^{-1} foram adicionados e deixados em pré-decomposição por 20 minutos. Em seguida os frascos foram fechados e levados ao digestor de microondas.

Após resfriamento, as soluções foram transferidas e avolumadas para 25,00 mL e acondicionadas em geladeira para posterior determinação dos analitos.

Resultados e Discussões

A composição química da pré-compostagem, quanto a nitrogênio, Relação C/N, carbono orgânico e carbono total, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Médias das variáveis Nitrogênio (%), Relação C/N, Carbono Orgânico (%) e Carbono Total (%) da pré-compostagem de resíduos orgânicos e lodo de café.

Tratamento	Relação C/N	Nitrogênio	Carbono Orgânico	Carbono total
V:V:V			(%)	
3:2:1	16,04	1,19	15,94	19,06

¹O tratamento corresponde a proporção de 3:2:1 de lodo, cinza e maravalha respectivamente.
Fonte: Os autores.

Na tabela 3, observa-se que o valores de carbono orgânico apresentou teor mínimo estabelecido pela instrução normativa nº 61, de 8 de julho de 2020, que estabelece a quantidade de carbono orgânico de, no mínimo, 15% para estar adequado à comercialização como fertilizante orgânico sólido (BRASIL, 2020). O carbono é uma fonte de energia para os microrganismos que atuam na biotransformação da matéria orgânica, portanto, a diminuição deste parâmetro é um indicador da humificação dos compostos, com um produto final de qualidade (KIEHL, 1998).

Para os valores de nitrogênio e relação C/N observa-se que estão dentro dos valores recomendados pela legislação para o uso de fertilizantes orgânicos, de acordo com a instrução normativa nº 25/2009 que estabelece que o limite mínimo do macronutriente nitrogênio deve ser de 0,5% e que a relação C/N deve ser igual ou menor que 20/1.

Médias de 1,9% e 1,3% de nitrogênio foram encontradas em composto orgânico formado por serragem de madeira, borra de café e outros resíduos vegetais em estudo desenvolvido por BERSAN et al., (2022). Estes valores estão próximos ao obtido.

O nitrogênio presente no composto está em sua condição orgânica complexa e não encontra-se prontamente disponível para as plantas absorverem. Após aplicação do composto, durante sua mineralização, os microrganismos, naturalmente presentes no solo, quebram as moléculas complexas, liberando uma forma mais simples de nitrogênio prontamente disponível para as plantas (MOUBARECK et al., 2023).

O valor da relação C/N obtida pode estar relacionado à composição do lodo de café solúvel utilizado na compostagem (Tabela 1), a qual apresentou relação C/N baixa, de 12/1, de modo que a proporção de lodo demonstrou tendência de redução da relação C/N no pré-composto.

Geralmente, esterco animal e lodo de esgoto são ricos em nitrogênio e têm relações C/N mais baixas, enquanto materiais lignocelulósicos como palha de trigo e arroz têm mais carbono e, portanto, uma alta relação C/N (LIN et al., 2022). Tal informação corrobora também para o comportamento observado do teor de carbono orgânico que diminui gradativamente com o aumento da proporção de lodo e consequente redução da proporção de maravalha que apresenta maior teor de carbono.

A composição físico-química da pré compostagem quanto a umidade, pH e condutividade elétrica $\mu\text{s T}=22^{\circ}\text{C}$, encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3. Médias das variáveis Umidade (%), pH e condutividade $\mu\text{s T}=22^{\circ}\text{C}$ da pré-compostagem de resíduos orgânicos e lodo de café.

Tratamento	Umidade	pH	Condutividade $\mu\text{s T}=22^{\circ}\text{C}$
V:V:V	(%)		
3:2:1	46,49	8,86	2085,20

¹O tratamento corresponde a proporção de 3:2:1 de lodo, cinza e maravalha respectivamente.
Fonte: Os autores.

A instrução normativa nº 61, de 8 de julho de 2020 (BRASIL, 2020) estabelece sobre o teor de umidade do composto, a qual pode ser de até 50%. Com isso, o tratamento se enquadra na legislação brasileira vigente como observa-se na Tabela 4.

O valor do pH fornece informações sobre o estado de decomposição da matéria orgânica, no início do processo a atividade das bactérias formadoras de ácidos que quebram os componentes orgânicos complexos, originam ácidos orgânicos intermediários (SOUZA et al., 2020). O pH básico, na faixa de 8,5 pode ajudar no controle de odores por prevenir a formação de ácido orgânico intermediário do composto (SOOBHANY, 2018), como os valores de pH obtido na pré-compostagem, acima de 8,0.

A matéria prima utilizada na compostagem influencia no pH do composto, no entanto o mesmo, pode variar normalmente, entre os valores de 6,0 e 8,0 (GILBERT, 2021).

A instrução normativa nº 61, de 8 de julho de 2020 (BRASIL, 2020) estabelece o teor de pH ≥ 6 , para fertilizantes orgânicos simples como a compostagem, portanto a pré-compostagem avaliada se enquadram nas disposições legais sobre compostagem orgânica.

A condutividade elétrica avaliada encontra-se dentro da faixa ideal para o desenvolvimento da maioria das culturas agrícolas, sendo um parâmetro importante para verificar o grau de qualidade do composto, pois é a capacidade de uma solução de conduzir corrente elétrica devido à presença de íons dissolvidos, sendo a concentração de sais solúveis no composto decorrentes da mineralização dos compostos orgânicos (MOUBARECK et al., 2023). No entanto, não há descrição de faixa aceitável de condutividade elétrica em composto orgânico na legislação vigente até o momento do presente estudo.

Observa-se na Tabela 4, a média para as variáveis P (%), K (%) e S(%) da pré-compostagem.

Tabela 4. Médias das variáveis P (%), K (%) e S(%) da pré compostagem de Lodo da Indústria de Café Solúvel, Maravalha e Cinza.

Tratamento	P	K	S
v:v:v	----- (%) -----		
3:2:1	0,386	1,318	0,1221

¹O tratamento corresponde a proporção de 3:2:1 de lodo, cinza e maravalha respectivamente.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Segundo a Instrução Normativa nº 61, de 2020, o teor mínimo de macronutrientes para comercialização de composto orgânico é de 1% para fósforo (P), potássio (K) e enxofre (S). Portanto, somente a variável potássio (K), apresentou média superior ao teor exigido pela legislação na pré-compostagem.

A disponibilidade dos macronutrientes P e K depende da dinâmica das suas fontes quando adicionados ao solo (CORATO, 2020). Os baixos teores obtidos podem ser explicados devido à composição dos materiais utilizados nos tratamentos de pré-compostagem (Tabela 1). No entanto, adicionar materiais ricos nestes macronutrientes pode elevar o tempo de decomposição e maturação da compostagem, inclusive adubos químicos minerais.

A baixa disponibilidade de alguns nutrientes, principalmente como os valores de P e S obtidos, está fortemente relacionada à imaturidade do composto, por ser uma pré-

compostagem e a possível causa pode ser a utilização de materiais primários de composição complexa, apresentando longo período de decomposição, influenciando inclusive no crescimento de decompositores microbianos (MOUBARECK et al., 2023). Neste sentido, é importante salientar que os valores obtidos no presente trabalho são referentes à pré compostagem e, possivelmente, haverá diferenças nos valores no final do processo de compostagem.

Os macronutrientes são essenciais para o desenvolvimento das culturas agrícolas, o fósforo por exemplo, estimula o desenvolvimento das raízes, melhora a formação das flores, produção de sementes e fortalece a planta tornando-a resistente a doenças (MOUBARECK et al., 2023).

Os resultados obtidos da análise química, em relação a Ca(%), Mg(%) e Na(%) da pré-compostagem estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Médias das variáveis Ca (%), Mg (%) e Na (%) da pré-compostagem de resíduos orgânicos e lodo de café.

Tratamento	Ca	Mg	Na
V:V:V	----- (%) -----		
3:2:1	5,54	0,709	0,482

¹O tratamento corresponde a proporção de 3:2:1 de lodo, cinza e maravalha respectivamente.
Fonte: Elaborada pelo autor.

A instrução normativa nº 61, de 8 de julho de 2020 (BRASIL, 2009) estabelece o teor mínimo de 1% para Ca e Mg para registro e comercialização de compostagem orgânica. Com isso, a pré-compostagem atende a quantidade mínima de Ca, exigida pela legislação, no entanto o mesmo não foi obtido para Mg, a qual apresentou teor inferior ao mínimo exigido.

Em solos com pH elevado, ou seja, acima de 7,0, ocorre a precipitação de P e S devido a reação com o Ca, causando efeitos negativos para a nutrição das plantas (PAIVA et al., 2023), a mesma reação pode ocorrer no processo de pré-compostagem que apresenta abundância destes nutrientes.

A legislação brasileira vigente até o desenvolvimento do presente trabalho não traz informações sobre a faixa aceitável de sódio em compostagem orgânica. O Conselho de Compostagem dos EUA, em 2018, estabeleceu faixas padrão para nutrientes presentes na compostagem orgânica incluindo, Na, a qual a faixa estabelecida pelo Conselho para sódio

está abaixo de 0,6% (MOUBARECK et al., 2023), sendo que a pré-compostagem apresentou teor inferior ao padrão do Conselho Americano. Alguns estudos apontam que composto contendo mais de 1% de sódio é considerado bastante rico em sódio (HEITMAN, 2022). O sódio não é um nutriente essencial para a maioria das culturas, no entanto a sua presença pode contribuir no desenvolvimento das plantas (DELOOSE et al., 2024).

A princípio a presença do sódio era uma preocupação para a compostagem desses resíduos, pois o uso de soda cáustica na limpeza da indústria de café solúvel era de se considerar no produto final. No entanto, ao que parece, o LICS é o componente da compostagem que menos contribuiu com adição de sódio na pré-compostagem (Tabela 6). Quanto aos resultados obtidos da análise química da pré-compostagem, em relação a Zn(mg/kg), Mn(mg/kg) e Fe (mg/kg) estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Médias das variáveis Zn (mg/kg), Mn (mg/kg) e Fe (mg/kg) da pré-compostagem de resíduos orgânicos e lodo de café.

Tratamento	Zn	Mn	Fe
V:V:V	----- (mg/kg) -----		
3:2:1	101,21	2287,63	24247,17

¹O tratamento corresponde a proporção de 3:2:1 de lodo, cinza e maravalha respectivamente.
Fonte: Os autores.

Foi observado que, de acordo com a legislação vigente, todos os tratamentos apresentaram níveis satisfatórios de micronutrientes, a qual, segundo Instrução Normativa nº 61, de 2020, os teores mínimos de Fe e Mn devem ser de 0,02% e o teor de Zn de 0,01%.

O acúmulo de Fe pode ocorrer devido às altas temperaturas alcançadas pela pré-compostagem durante o processo, além da perda de umidade e carbono (MENDES, 2019). Além do que, o LICS e a cinza são ricos em Fe como demonstrado na análise química dos materiais primários utilizados, justificando o valor expressivo encontrado na pré-compostagem. O mesmo ocorre para o manganês, a qual a cinza utilizada na pré-compostagem possui relevante quantidade de Mn. Já para zinco, todos os materiais primários utilizados na pré-compostagem apresentavam baixos teores do mesmo, portanto, fundamenta os resultados obtidos de baixos teores de Zn.

Os resultados obtidos da análise química da pré-compostagem, em relação a Cu (mg/kg), Cr (mg/kg) e Cd (mg/kg) estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Médias das variáveis Cu (mg/kg), Cr (mg/kg) e Cd (mg/kg,) da pré-compostagem de resíduos orgânicos e lodo de café.

Tratamento	Cu	Cr	Cd
V:V:V	----- (mg/kg) -----		
3:2:1	486,70	16	4,02

¹O tratamento corresponde a proporção de 3:2:1 de lodo, cinza e maravalha respectivamente.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A instrução normativa n° 61, de 8 de julho de 2020 (BRASIL, 2009) estabelece o teor mínimo de 0,02% para Cu em composto orgânico, portanto a pré-compostagem apresentou teor expressivo em relação a essa variável.

Segundo a Instrução Normativa N° 27 de 2016 os teores máximos aceitos para composto orgânico de Cr hexavalente é de 2mg/Kg e para Cd de 3mg/kg. Os resultados obtidos na pré-compostagem para Cd excedeu o limite exigido pela legislação, e para Cr a legislação considera o Cr hexavalente, que não foi detectado no tratamento, contudo a legislação para substratos para plantas considera o Cr total, num teor máximo de 500 mg/kg. Na análise o teor de Cr total variou de 16 a 46 mg/kg, ou seja bem abaixo do limite permitido em legislação.

Os resultados obtidos da análise química da pré-compostagem, em relação a Ni (mg/kg), Pb (mg/kg) e Mo (mg/kg) estão apresentados na Tabela 9 abaixo.

Tabela 9. Médias das variáveis Ni (mg/kg), Pb (mg/kg) e Mo (mg/kg) da pré-compostagem de resíduos orgânicos e lodo de café.

Tratamento	Ni	Pb	Mo
V:V:V	----- (mg/kg) -----		
3:2:1	18,58	6,99	7,82

¹O tratamento corresponde a proporção de 3:2:1 de lodo, cinza e maravalha respectivamente.

Fonte: Os autores.

Segundo a Instrução Normativa N° 7 de 2016 os teores máximos aceitos para composto orgânico de Ni é de 70mg/Kg, para Pb de 150mg/kg e para Mo segundo a instrução normativa n° 61, de 8 de julho de 2020, teor mínimo de 0,005%. Portanto, a pré-

compostagem avaliada quanto a Ni, Pb e Mo se enquadra no padrão estabelecido pela legislação brasileira.

Para determinar se um composto é seguro para ser utilizado como fonte de nutrientes uma das principais características a serem analisadas é a ausência de elementos fitotóxicos, como o Ni e o Pb em elevadas concentrações (PEREIRA, 2021) e a pré-compostagem avaliada apresentou baixas concentrações dos mesmos.

Analizando todos os nutrientes avaliados na pré-compostagem, a ordem decrescente de teor dos nutrientes obtidos foi de Ca>K>Mg>Na>P>S>Fe>Mn>Cu>Zn>Cr>Ni>Mo>Pb>Cd. Portanto, para atender a todas as exigências da legislação vigente sobre os parâmetros mínimos aceitáveis em composto orgânico, para a proporção avaliada, demanda incrementar fósforo, enxofre e magnésio, para atender a legislação e apresentar os valores padrão necessários. Logo, para atender aos teores de nutrientes que estão abaixo da legislação, podem ser acrescentados esterco, camas ou outras fontes de material primário rico nestes nutrientes para ser utilizado na pré-compostagem.

Conclusões

A proporção dos materiais avaliados, de 3:2:1 de Lodo da Indústria de Café Solúvel, Maravalha e Cinza, respectivamente, é apropriada para serem utilizadas na pré-compostagem, atendendo à maior quantidade de parâmetros da legislação brasileira vigente quanto às exigências legais de garantias mínimas para nutrientes, máximas para contaminantes e do ponto de vista nutricional para uso agrícola.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES).

Ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) – Fazendas Experimental de Viana, Alfredo Chaves e Centro Serrano ES.

À Real Café, Viana – ES.

Referências

ANDRADE, FC, et al. Enriquecimento de composto orgânico com microrganismos benéficos e desempenho produtivo de milho e trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, p. 332-339, 2021.

BATISTA, L F. Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final. 2015.

BEJANKIWAR, RS.; LOKESH, KS; GOWDA, TP. Remoção de cor e orgânica de efluentes de cura de café biologicamente tratados pelo método de oxidação eletroquímica. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 15, n. 3, p. 323-327, 2003.

BENAVIDES P, GIL ZN, ESCOBAR LE, NAVARRO-ESCALANTE L, FOLLETT P, DIAZ-SOLTERO H. Pilot Testing of an Area-Wide Biological Control Strategy against the Coffee Berry Borer in Colombia Using African Parasitoids. **Insects**. 2023

BENEDITO LZ, LIMA CMG, PIRES FC, AMARAL AE, VERRUCK S, PEREIRA RGFA. Consumer acceptability and fragrance quality differentiate on of Mogiana coffee types using the Check-All-That-Apply (CATA) method. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 95, p. e20200889, 2023.

BERSAN, J L M; KELMER, G A R; DE ALMEIDA, J R. Avaliação da qualidade nutricional de composto orgânico produzido com resíduos provenientes de composteiras domésticas. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 10, n. 2, 2022.

BEZERRA, Marcos Almeida et al. Application of mixture design in analytical chemistry. **Microchemical Journal**, v. 152, p. 104336, 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA n.25, de 23 de julho de 2009. **Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura**. Publicado no D.O.U. de 24 julho de 2009.

CAETANO, N S.; SILVA, V F.M.; MATA, TERESA M. Valorização da borra de café para produção de biodiesel. **Transações de Engenharia Química**, v. 26, 2012.

CARMO, D. L.; SILVA, C. A. Métodos de Quantificação de Carbono e Matéria Orgânica em Resíduos Orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 36, p. 1211-1220, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v36n4/15.pdf>>. Acesso em: 09 Nov. 2022.

CORATO, Ugo de. Agricultural waste recycling in horticultural intensive farming systems by on-farm composting and compost-based tea application improves soil quality and plant health: A review under the perspective of a circular economy. **Science of the Total Environment**, v. 738, p. 139840, 2020.

DELOOSE, M., CLÚA, J., CHO, H., ZHENG, L., MASMOUDI, K., DESNOS, T., ... & ROUACHED, H. Avanços recentes na revelação do mistério do estresse combinado de nutrientes em plantas. **The Plant Journal**, v. 117, n. 6, p. 1764-1780, 2024.

EVANGELISTA S. R.; MIGUEL M. G. C. P.; SILVA C. F.; SCHWANA R. F. Diversidade microbiológica associada ao método úmido espontâneo de fermentação do café. **International Journal of Food Microbiology**, v. 210, p. 102-112, 2015.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. **Café Conilon**. 2ª ed. Vitória, ES. Incaper. p.784, 2017.

FIOL, N; ESCUDERO, C; VILLAESCUSA, I. Reaproveitamento de resíduos de café moído esgotado para sorção de Cr (VI). **Separação Ciência e Tecnologia**, v. 43, n. 3, p. 582-596, 2008.

FRANCA, A S.; OLIVEIRA, Leandro S. Potential uses of spent coffee grounds in the food industry. **Foods**, v. 11, n. 14, p. 2064, 2022.

HECK, K. et al. Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 54-59, 2013.

HEITMAN, JOSHUA L., RICHARD A. MCLAUGHLIN E CHRISTINA N. KRANZ. "Otimizando taxas de aplicação de composto para saúde da vegetação, infiltração máxima de águas pluviais e qualidade do escoamento." (2022).

KANTE, K.; NIETO-DELGATO, C.; RANGEL-MÉNDEZ, J.R.; Bandosz, T.J. Carvão ativado à base de café: características específicas da superfície e sua importância para o processo de separação de H₂S. **Jornal de materiais perigosos**, v. 201, p. 141-147, 2012.

KIEHL, E.J. Manual de compostagem –maturação e qualidade do composto. Piracicaba: Editora Degaspari. 1998.

LIMA, LALC. **Extração de óleo de borra de café (Coffea arábica) por prensagem a frio vs. extração com solvente assistida e não assistida com ultrassom: rendimento dos processos e perfis de voláteis, sensorial, de ácidos graxos e antioxidante dos óleos obtidos.** 2019.

MAGHULY F.; JANKOWICZ-CIESLAK J.; BADO, S. Melhorando espécies de café para resistência a patógenos. **CABI Revisões**, n. 2020, 2020.

MOTA, V. C.; ANDRADE, E. T.; PINTO, S. M.; ABREU, L. R. de; LEITE, D. F. Utilização de confinamento de bovinos em cama para adubação orgânica da cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 620-624, 2019.

MOUBARECK, CA; ALAWLAQI, B; ALHAJERI, S. Characterization of physicochemical parameters and bacterial diversity of composted organic food wastes in Dubai. **Heliyon**, v. 9, n. 6, 2023.

MUSSATTO, S.I.; CARNEIRO, L.M.; SILVA, J.P.A.; ROBERTO, I.C.; TEIXEIRA, J.A. Um estudo sobre os constituintes químicos e a extração de açúcares da borra de café. **Polímeros de carboidratos**, v. 83, n. 2, p. 368-374, 2011.

NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. **Manual de Laboratórios: Solo, Água, Nutrição Vegetal, Nutrição Animal e Alimentos.** São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 313p.

NOVITA, E. Simulação da biodegradabilidade de águas residuais de café usando café solúvel. **Agricultura e Ciências Agrárias Procedia**, v. 9, p. 217-229, 2016.

OLIVEIRA, W.E.; FRANÇA, A.S.; OLIVEIRA, L.S.; ROCHA, S.D. Cascas de café não tratadas como biossorventes para remoção de metais pesados de soluções aquosas. **Journal of Hazardous Materials**, v. 152, n. 3, p. 1073-1081, 2008.

PAPPA, P.; PELLERA, F. M.; GIDARAKOS, E. Characterization of biochar produced from spent coffee waste. **Ind. Hazard. Waste Manag**, p. 1-8, 2012.

PEREIRA, V. M. G.; VALE, A. S.; NETO, D. P. C.; MUYNARSK, E. S. M.; SOCCOL, V. T.; SOCCOL, C. R. Bactérias lácticas: o que a indústria cafeeira deve saber? **Current Opinion in Food Science**, v. 31, p. 1-8, 2020.

PEREIRA, C M. Avaliação de Composto Orgânico Proveniente de Resíduos de Agroindústria de Banana e Palha de Café. Dissertação: UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO - Seropédica, 2021. 32 f.

PREETHU, D. C.; PRAKASH, B. N. U. H.; SRINIVASAMURTHY, C. A.; VASANTHI, B.G. Maturity indices as an index to evaluate the quality of compost of coffee waste blended with other organic wastes. In: **Proceeding of international conference on sustainable solid waste management, Chennai, India, Citeseer**, p. 270-275, 2007.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Viena, Áustria: R foundation for statistical computing. 2022. Available in: . Access in: March 27, 2023.

REFFAS, A.; BERNADET, V.; DAVID, B.; REINERT, L.; BENCHEIKH, L. M.; DUBOIS, M.; BATISSE, N.; DUCLAUX, L. Carbonos preparados a partir de borra de café por ativação de H₃PO₄: Caracterização e adsorção de azul de metileno e vermelho de Nylosan N-2RBL. **Revista de materiais perigosos**, v. 175, n. 1-3, p. 779-788, 2010.

RIGUETO, C.V.T.; NAZARI, M.T.; SOUZA, C.F.; CADORE, J.S.; BRIÃO, V.B.; PICCIN, J.S. Técnicas alternativas para remoção de cafeína de águas residuais: uma visão geral de oportunidades e desafios. **Journal of Water Process Engineering**, v. 35, p. 101231, 2020.

SHOUP, M. E. **Premiumization leads the way in global coffee market, including instant coffee category**. 2020. Disponível em: < <https://www.foodnavigator-usa.com/Article/2016/11/23/Premium-leads-way-in-global-instant-coffee> > Acesso em: 02 de nov. de 2022.

SOOBHANY, N. Assessing the physicochemical properties and quality parameters during composting of different organic constituents of Municipal Solid Waste. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 2, p. 1979-1988, 2018.

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

SOUSA, L. B. de; STAMFORD, N. P.; OLIVEIRA, W. da S.; SILVA, E. V. N. da; MARTINS, M. dos S.; SANTOS, C. E. de R. e S. Evolução da disponibilidade de nutrientes na fase de maturação da compostagem utilizando proporções de diferentes resíduos inoculados com *Beijerinckia indica*. **Acta Scientiarum Agronomy**, p.1-7, v.40, 2018.

SOUSA, R M. **Estudo de diferentes estratégias para decomposição de amostras ricas em silicatos para posterior determinação de elementos traço por métodos espectrométricos**. Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Química – Universidade Federal do Espírito Santo, p. 138, 2022.

TSAI, W.T.; LIU, S.C.; HSIEH, C.H. Preparação e propriedades do combustível de biochars a partir da pirólise de resíduo de café exausto. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 93, p. 63-67, 2012.

WANG Z.; LIU T.; DUAN H.; SONG Y.; LU X.; HU S.; YUAN Z.; BATSTONE D.; ZHENG M. Post-treatment options for anaerobically digested sludge: Current status and future prospect. **Water research**, v. 205, p. 117665, 2021.

WONG, J. W. C.; AMMAIYAPPAN, S.; ZHENYONG, Z.; LAW, S. M.; YU, A. C. W.; CHUNG, P. C. P. "Influência de diferentes proporções de mistura na co-compostagem de lodo de esgoto com cama de palha de estábulo de cavalo: Maturidade e avaliação de processos."Gerenciamento de Resíduos. **Res.29**, p. 11, 2011.

**Comunicado
Técnico, Nº 24**

*Exemplares digitais deste
comunicado técnico podem
ser obtidos em:*

*Programa de Pós-
Graduação em
Agroecologia (PPGA)*

*Instituto Federal do Espírito
Santo -Campus de Alegre*

*Rodovia ES 482, km 47, Cx.
Postal-47, Distrito de Rive,
Alegre-ES*

Telefone: (28) 3564-1808

www.ppga.alegre.ifes.edu.br

**Comissão
Editorial do
PPGA**

*Otacílio José Passos
Rangel, Ana Paula
Candido Gabriel
Berilli, Aparecida de
Fátima Madella de
Oliveira, Danielle
Inácio Alves, Jeane
de Almeida Alves,
Jéferson Luiz Ferrari,
Maurício Novaes
Souza, Monique
Moreira Moulin, Pedro
Pierro Mendonça*

**Editoração
eletrônica**

PPGA