

Foto: Tâmara Cláudia de Araújo Gomes



COMUNICADO
TÉCNICO

218

Aracaju, SE
Dezembro, 2018



Reciclagem de vinhaça via compostagem em larga escala

Tâmara Cláudia de Araújo Gomes
José Lincoln Pinheiro Araújo
Taís Almeida Santos
Paul Lineker Amaral de Melo
Karlly Thayanny de Oliveira Pereira
Jakson Cavalcante da Costa Júnior
Thiago Cândido dos Santos

Reciclagem de vinhaça via compostagem em larga escala¹

¹ Tâmara Cláudia de Araújo Gomes, Engenheira-agrônoma, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Pesquisa de Rio Largo (UEP - Rio Largo), Rio Largo, AL. José Lincoln Pinheiro Araújo, Engenheiro-agrônomo, doutor em Economia Agrária, pesquisador da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE. Tais Almeida Santos, Engenheira-agrônoma, mestre em Solos e Nutrição de Plantas, Piracicaba, SP. Paul Lineker Amaral de Melo, Engenheiro-agrônomo, mestre em Solos e Nutrição de Plantas, Piracicaba, SP. Karly Thayanny de Oliveira Pereira, Química, mestre em Química Analítica, Maceió, AL. Jakson Cavalcante da Costa Júnior, Engenheiro-agrônomo, Maceió, AL. Thiago Cândido dos Santos, Engenheiro-agrônomo, Maceió, AL.

A vinhaça, efluente resultante da produção de álcool, anteriormente visto como um resíduo de alto poder poluente, após esforços de pesquisa, passou a ser reconhecido como um insumo de alto valor fertilizante. Esse reconhecimento advém de seu alto conteúdo de matéria orgânica e elementos minerais, principalmente potássio, cálcio e magnésio.

No entanto, há hoje o consenso de que seu uso em excesso pode provocar o retardamento da maturação da cana e seu uso contínuo pode levar à contaminação de corpos d'água superficiais e subterrâneos. Legislações específicas restringem o uso da vinhaça em fertirrigação com base em seu teor de potássio e no do solo. Solos arenosos, com baixos teores de matéria orgânica, baixa capacidade de troca catiônica e bem drenados estariam mais sujeitos a perdas de potássio por lixiviação.

Devido aos grandes volumes de vinhaça gerados e a limitação do solo em recebê-la, para se evitar danos ambientais, a vinhaça teria que ser conduzida para aplicação também em áreas mais

distantes da destilaria, o que inviabiliza economicamente o seu uso. Assim, outra forma de aproveitamento da vinhaça como fertilizante é o seu uso no preparo de compostos orgânicos, que são fertilizantes obtidos por processos de decomposição controlada chamados compostagem.

Nesse sentido, entre 2006 e 2011, foram efetuadas avaliações experimentais sobre o efeito da vinhaça na qualidade, estabilidade e humificação do composto produzido a partir de resíduos da agroindústria sucroalcooleira, durante três ciclos de compostagem (Gomes, 2011; 2012). De forma a se comprovar a eficiência da compostagem em promover a reciclagem da vinhaça em larga escala, entre 2013 e 2014, o processo foi executado em pátio de produção de composto da Cooperativa de Colonização Agropecuária e Industrial Pindorama, entidade parceira desde a fase experimental da pesquisa.

A seguir são descritos alguns aspectos conceituais e, em seguida, o passo a passo do processo de reciclagem da

vinhaça por meio da compostagem em larga escala.

A compostagem

Trata-se de um antigo processo de tratamento e reciclagem de resíduos orgânicos facilmente adaptável às mais diversas fontes orgânicas. O processo geral é o mesmo: a decomposição dos resíduos se dá pela atividade de microrganismos em ambiente aeróbio e úmido. Em seu decorrer, há a liberação de calor e produção de CO_2 , água, minerais e uma matéria orgânica estabilizada que pode ser utilizada como fertilizante e condicionador do solo.

A liberação de calor é mais intensa (50°C a 60°C) na primeira fase da compostagem (ativa) e é nesse momento em que ocorre a liberação de nutrientes da matéria orgânica mais facilmente decomponível. A seguir vem a fase de cura do composto, com temperaturas mais baixas ($<40^\circ\text{C}$, fase mesofílica). O material orgânico remanescente é convertido em substâncias húmicas (estágio de humificação) que vai conferir maior reatividade e poder condicionante ao composto.

Para que os microrganismos possam ser efetivos em processar o composto, a proporção de carbono em relação ao nitrogênio na mistura dos resíduos no início da compostagem deverá estar entre trinta a quarenta partes para um (relação C/N 30:1 a 40:1). Relações C/N superiores a 40:1 resultarão em atraso no processamento do composto, enquanto

relações C/N menores que 30:1, resultarão em perdas de nitrogênio para a atmosfera. Proporções adequadas de nitrogênio e carbono na mistura inicial, permitem a obtenção de compostos de melhor qualidade e em menos tempo.

Assim sendo, compreende-se porque a compostagem é um processo controlado: além da relação C/N, a aeração, a umidade e a temperatura deverão estar em níveis adequados ao desenvolvimento dos microrganismos que processam o composto. A ausência de controle ocasionará a falta de oxigênio na leira (ambiente anaeróbio), com a produção de lixiviados (chorume) e gases. Leiras com cheiro de amônia, de putrefação ou com escoamento de chorume refletem a baixa qualidade operacional do processo, impactando o ambiente e acarretando a perda de nutrientes de alto valor econômico que poderiam minimizar o uso de fertilizantes minerais.

A reciclagem da vinhaça por meio da compostagem

A grande produção de resíduos orgânicos sólidos da agroindústria sucroalcooleira, como o bagaço de cana e a torta de filtro, além de dar suporte à geração de energia, abre espaço para a melhoria do processo de ciclagem de nutrientes no sistema solo-planta, com o aproveitamento desses resíduos para a produção de fertilizantes. Assim, verificou-se que os compostos obtidos se

mostraram adequados para uso agrícola tanto quanto aqueles nos quais se utilizou água (Gomes, 2012), apresentando a vantagem de possuir maior capacidade de troca catiônica e de reciclar 5 L de vinhaça por kg de massa seca da mistura de resíduos sólidos utilizada.

Passos para a realização da reciclagem da vinhaça por meio da compostagem em larga escala

1° Passo: Cálculos das proporções de resíduos para compostagem

Para cálculo da proporção do bagaço de cana (BC, resíduo de relação C/N alta) para a torta de filtro (TF, resíduo de relação C/N baixa), de forma a que a mistura inicial a ser compostada esteja com relação C/N próxima a 30:1, a determinação prévia dos teores de carbono e nitrogênio, umidade e densidade de cada resíduo deverá ser realizada. Isso permitirá que a compostagem se processe rapidamente e se obtenha um produto agronomicamente satisfatório.

Exemplificando, para a obtenção de uma mistura com uma relação C/N de 30/1, serão consideradas as características dos resíduos utilizados na fase de validação da tecnologia (Tabela 1).

Tabela 1. Características dos resíduos orgânicos frescos, antes do estabelecimento das pilhas de composto.

Determinação	Fase de validação							
	pH em água ⁽¹⁾	CE ⁽¹⁾ (mS cm ⁻¹)	C.O. (g kg ⁻¹)	Ntot (g kg ⁻¹)	C/N	Sólidos (%)	Água (%)	Densidade (kg m ⁻³)
Bagaço cana	5,82	0,48	453,2	2,8	159,4	50,41	49,60	303,7
Torta de filtro	6,88	1,43	389,7	22,7	17,16	38,37	61,63	812,4
Vinhaça	4,47	3,98	6.500,0*	290,0*	22,4	-	-	-

⁽¹⁾ Relação 10:1 (água: resíduos sólidos); CE: condutividade elétrica; C.O.: carbono orgânico; Ntot: nitrogênio total; C/N: relação carbono/nitrogênio; *mg L⁻¹.

Estimativa da proporção do bagaço de cana em relação à torta de filtro em base seca e cálculo da mistura com relação C/N 30:1

Equação 1:

$$BC = \frac{(30 \times N_{TF}) - C_{TF}}{C_{BC} - (30 \times N_{BC})} = \frac{(30 \times 2,27) - 38,97}{45,32 - (30 \times 0,28)} = \frac{29,13}{36,92} = 0,789$$

Onde: BC = partes do bagaço de cana (material de relação C/N alta)

C_{BC} = teor de carbono do bagaço de cana (em %)

N_{BC} = teor de nitrogênio do bagaço de cana (em %)

C_{TF} = teor de carbono da torta de filtro (em %)

N_{TF} = teor de nitrogênio da torta de filtro (em %)

Tem-se assim, que para cada parte de torta de filtro, deve-se misturar 0,789 partes de bagaço de cana. Fazendo-se uma regra de três simples, teremos que tal relação (0,789 para 1) corresponde a 44,1% de bagaço de cana para 55,9% de torta de filtro em massa seca, uma vez que os resultados emitidos pelo laboratório são dados em base seca.

Para conferência dos cálculos, tem-se que a mistura de resíduos para início do processamento do composto terá 41,77% de C (Equação 2), 1,39% de N (Equação 3) e uma relação C/N de 30/1 (Equação 4).

Equação 2 (conferência do teor de C da mistura inicial):

$$\text{C orgânico da mistura (\%)} = \frac{(C_{BC} \times BC_m) + (C_{TF} \times TF_m)}{100} = \frac{(45,32 \times 44,1) + (38,97 \times 55,9)}{100} = 41,77$$

Onde: C_{BC} = teor de carbono do bagaço de cana (em %)

BC_m = % de bagaço de cana na mistura

C_{TF} = teor de carbono da torta de filtro (em %)

TF_m = % de torta de filtro na mistura

Equação 3 (conferência do teor de N da mistura inicial):

$$\text{N da mistura (\%)} = \frac{(N_{BC} \times BC_m) + (N_{TF} \times TF_m)}{100} = \frac{(0,28 \times 44,1) + (2,27 \times 55,9)}{100} = 1,39$$

Onde: N_{BC} = teor de nitrogênio do bagaço de cana (em %)

BC_m = % de bagaço de cana na mistura

N_{TF} = teor de nitrogênio da torta de filtro (em %)

TF_m = % de torta de filtro na mistura

Equação 4 (conferência da relação C/N da mistura inicial):

$$\text{Relação C/N da mistura} = \frac{\text{C orgânico da mistura (\%)}}{\text{N da mistura (\%)}} = \frac{41,77}{1,39} = 30,00$$

No entanto, como os resíduos têm umidade, há que se corrigir a proporção do bagaço de cana em relação à torta de filtro na mistura, considerando-se o peso da água.

Estimativa da proporção do bagaço de cana em relação à torta de filtro em base seca e cálculo da mistura com relação C/N 30:1

São considerados os teores de sólidos e água dos resíduos utilizados na fase de validação da tecnologia (Tabela 1).

Equação 5 (obtenção da proporção bagaço de cana/torta de filtro em base úmida):

$$\text{Partes de BC em base úmida} = \frac{(BC_m \times 100)}{BC_s} = \frac{(44,1 \times 100)}{50,41} = 87,48$$

$$\text{Partes de TF em base úmida} = \frac{(TF_m \times 100)}{TF_s} = \frac{(55,9 \times 100)}{38,37} = 145,69$$

Onde: BC_m = % de bagaço de cana na mistura

BC_s = teor de sólidos do bagaço de cana (em %)

TF_m = % de torta de filtro na mistura

TF_s = teor de sólidos da torta de filtro (em %)

De forma a se manter a relação C/N da mistura e se considerar a umidade atual dos resíduos, haverá que se usar 87,48 partes de bagaço de cana (37,52%) e 145,69 partes de torta de filtro (62,48%) em massa úmida.

Estimativa da proporção do bagaço de cana em relação à torta de filtro em volume

Para isso, há que se considerar a densidade dos resíduos sólidos a serem compostados (Tabela 1). Na unidade agroindustrial, onde se utiliza caminhões com caçamba-basculante de 12 m³ para o transporte dos resíduos, tal densidade poderá facilmente ser obtida, dividindo-se o peso, em kg, do bagaço de cana e da torta de filtro, por 12.

Equação 6 (obtenção da proporção bagaço de cana/torta de filtro em volume):

$$\text{Partes de BC em volume} = \frac{BC_{mu}}{D_{BC}} = \frac{37,52}{303,7} = 0,124$$

$$\text{Partes de TF em volume} = \frac{TF_{mu}}{D_{TF}} = \frac{62,48}{812,4} = 0,077$$

Onde: BC_{mu} = % de bagaço de cana na mistura úmida

D_{BC} = densidade do bagaço de cana (em kg m⁻³)

TF_{mu} = % de torta de filtro na mistura úmida

D_{TF} = densidade da torta de filtro (em kg m⁻³)

Assim, em volume, haverá que se usar 0,124 partes de bagaço de cana (61,63%) para 0,077 partes de torta de filtro (38,37%).

Considerando-se que o volume de 100 m de uma leira de 3,2 m de base por 1,3 m de altura (medidas da leira montadas por alguns implementos compostadores comerciais) é 208 m³, 130,4 m³ seriam de bagaço de cana e 77,6 m³ seriam de torta de filtro. Isso corresponderia dizer que para o estabelecimento de 100 m lineares de leira seriam necessários em torno de 11 caçambas de 12m³ de bagaço de cana e 7 caçambas de torta de filtro.

Enriquecimento da mistura e estimativa do volume de vinhaça a ser reciclado

Para compostos destinados a áreas de renovação de canavial, a adição de

uma fonte mineral natural de fósforo permitiria sua aplicação na mesma operação de aplicação do composto, diminuindo os custos de implantação do canavial ao mesmo tempo em que aumentaria a disponibilidade residual de fósforo no solo. Assim, utilizaram-se 2% de fosfato natural de Gafsa em relação à massa seca da leira. Uma vez que esse apresenta 9% de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico (29% de P₂O₅ total), tal acréscimo representou cerca de 80 kg de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico em 100 metros lineares de leira (Tabela 2).

Os resultados de pesquisa mostraram que, ao longo do processo de compostagem, 5 L de vinhaça foram reciclados por cada quilograma de resíduos sólidos da mistura a ser compostada, os quais deverão ser acrescidos por ocasião da montagem e revolvimentos.

Tabela 2. Volume, massa seca e fresca (úmida) dos resíduos sólidos, fosfato natural de Gafsa e vinhaça utilizados para a instalação de leiras de 100 m lineares durante a fase de validação. Coruripe, AL, 2013/2014.

	Massa úmida (kg)	Massa seca (kg)	Volume (m ³)
Bagaço cana	39.602,48	19.963,61	130,4
Torta de filtro	63.042,24	24.189,31	77,6
Fosfato natural de Gafsa	883,06	883,06	-
Leira (100m lineares)	103.527,78	45.035,98	208,00
Vinhaça (m ³)	-	-	225,18

2° Passo: Escolha, sistematização e marcação da área

De forma a se minimizar os custos com transporte dos resíduos, a localização do pátio de compostagem deverá ser o mais próximo possível da sua unidade geradora e do tanque de decantação da vinhaça. A área deverá apresentar declividade entre 1% e 3%, para facilitar o escoamento da água e preferencialmente, ser compactada. Um pátio de compostagem de 10 ha comportará 16 leiras de 1000 m de comprimento (3,2 m de base) espaçadas em 3 m umas das outras.



Fotos: Tâmara Cláudia de A. Gomes

Figura 1. Estabelecimento do pátio de compostagem.

3° Passo: Montagem das leiras

Após a marcação das leiras, os resíduos devem ser dispostos lado a lado de forma a facilitar a deposição da torta de filtro sobre o bagaço de cana com pá carregadeira (Figura 2). Essa operação facilitará a passagem do implemento compostador.



Fotos: Tâmara Cláudia de A. Gomes

Figura 2. Disposição dos resíduos sólidos para estabelecimento das leiras de compostagem.

4º Passo: Revolvimento mecânico das leiras

A completa mistura dos materiais e montagem das leiras será obtida com a passagem de compostadores mecânicos, autopropeleidos ou tracionados por trator (Figura 3). Também utilizado no revolvimento periódico das leiras, o compostador apresenta um túnel cujas dimensões definirão a largura e altura das leiras e variam de acordo com

as marcas e modelos disponíveis no mercado.

O número de revolvimentos é definido em função da necessidade de controle da umidade, aeração e temperatura das leiras. Os revolvimentos são mais frequentes na fase termofílica da compostagem, ficando mais esparsas no período de cura (humificação). Até os 120 dias de compostagem foram realizados 9 revolvimentos, 6 dos quais, nos primeiros 40 dias.

Fotos: Tâmara Cláudia de A. Gomes



Figura 3. Compostador mecânico.

5º Passo: Irrigação das leiras com vinhaça

A manutenção da umidade da leira entre 40% e a 60% em peso, permitirá o adequado desenvolvimento microbiano sob condições aeróbias, acelerando o processamento do composto. Umidade acima de 60%, bloqueará o fluxo de ar no interior da leira, retardando a decomposição dos resíduos, produzindo chorume e mal cheiro; umidade inferior a 40% inibe a atividade dos

microrganismos, alongando ou até parando a compostagem.

Especial atenção quanto à economicidade do sistema deverá ser dada a estratégia de irrigação das leiras. A adaptação do sistema de barra irrigadora tracionada por carretel enrolador, com dois bicos abertos direcionados para cada leira e fechando-se os bicos que se localizam entre as leiras (Figura 4), foi eficiente em aplicar a vinhaça às leiras ao mesmo tempo em que minimizou o uso de mão de obra.



Figura 4. Aplicação da vinhaça com barra irrigadora tracionada por carretel enrolador.

Fotos: Tâmara Cláudia de A. Gomes

6º Passo: Monitoramento da temperatura das leiras

Após a montagem da pilha ocorrerá o aumento da temperatura inerente ao processo, o qual poderá atingir valores superiores a 60 °C, devendo ser controlado. Picos de elevação de temperatura serão observados logo após a aplicação de vinhaça nas leiras, os quais refletem o acréscimo de matéria orgânica facilmente decomponível ao processo e o aumento da atividade microbiana.

A exceder 65 °C, observa-se a morte de microrganismos decompositores e o aumento de perdas de nitrogênio,

principalmente sob pH alcalino. A permanência mínima da fase ativa da compostagem em 55 °C por 14 dias, é estabelecida pela Resolução Conama 481/2017 como procedimento para garantir a higienização e uso seguro dos compostos orgânicos. O monitoramento poderá ser realizado por meio de um termômetro digital portátil, que permita leitura ao menos até 100 °C, com sensor de penetração aguda, diâmetro 6 mm x 800 mm e rabicho de 1 metro (Figura 5). Medições diárias, realizadas sempre no mesmo horário, podem ser usadas para traçar um perfil de temperatura, refletindo o progresso da compostagem.



Fotos: Tâmara Cláudia de A. Gomes

Figura 5. Monitoramento da temperatura no interior da leira.

Valor fertilizante e rendimento do composto de vinhaça

De uma forma geral, na fase de validação, os compostos obtidos com vinhaça (C5) ou com água (C1) e torta de filtro maturada com vinhaça (TF) apresentaram pH e CTC semelhantes, relação C/N e nitrogênio mais elevados (exceto a torta de filtro) e menores teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e capacidade de troca catiônica por unidade de carbono (relação CTC/C), que os

da fase experimental.

Nesse sentido, a esperada superioridade alcançada na fase experimental reflete a qualidade potencial que os compostos podem alcançar em decorrência de fáceis ajustes no controle operacional em larga escala, em função da observância aos princípios de compostagem seguidos na fase experimental. No entanto, mesmo com as diferenças observadas em função da escala de produção, todos atendem adequadamente às especificações e garantias de fertilizantes orgânicos compostos estabelecidos pela legislação (Tabela 3).

Tabela 3. Compostos orgânicos formulados com resíduos da agroindústria sucroalcooleira adicionados de vinhaça (C5) ou água (C1) e da torta de filtro maturada (TF) ao final do processo de compostagem (160 dias; média de quatro repetições).

Características	Fase de validação			Teor/valor mínimo ⁽⁸⁾
	C1	C5	TF	
pH-H ₂ O ⁽¹⁾	6,5	6,6	6,8	6
CE (mS cm ⁻¹) ⁽¹⁾	0,4	1,0	1,0	-
C Total (g kg ⁻¹) ⁽²⁾	283,39	253,56	316,18	150
N Total (g kg ⁻¹) ⁽²⁾	18,3	19,8	25,4	5
Relação C/N	15,46	13,70	12,36	20**
P (g kg ⁻¹) ⁽³⁾	13,39	18,50	18,80	-
K ⁺ (g kg ⁻¹) ⁽⁴⁾	1,76	1,79	2,58	-
Ca ²⁺ (g kg ⁻¹) ⁽⁵⁾	21,85	28,37	25,11	10
Mg ²⁺ (g kg ⁻¹) ⁽⁵⁾	2,61	2,91	4,79	10
Na (g kg ⁻¹) ⁽⁴⁾	0,63	0,56	0,41	-
CTC (mmol _c kg ⁻¹) ⁽⁶⁾	422,80	478,17	652,03	200 ⁽⁹⁾
CTC/C (mmol _c g ⁻¹) ⁽⁷⁾	1,49	1,89	2,06	-

⁽¹⁾ Relação sólido: solução 1:10; ⁽²⁾ combustão seca em analisador elementar; ⁽³⁾ determinação por colorimetria; ⁽⁴⁾ determinação por fotometria de chama; ⁽⁵⁾ determinação por espectrometria de absorção atômica; ⁽⁶⁾ capacidade de troca catiônica (Rodella; Alcarde, 1994); ⁽⁷⁾ relação capacidade de troca catiônica por unidade de carbono; ⁽⁸⁾ especificações de fertilizantes orgânicos compostos da Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Instrução, 2009); ⁽⁹⁾ Especificações de condicionadores de solo da Instrução Normativa SDA nº 35, de 4 de julho de 2006 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Instrução, 2006). *Mineralização níttrica em micro-ondas. **Valor máximo.

Comparando agora os compostos, a adição da vinhaça proporcionou melhores teores de N, P, K, Ca e Mg ao composto C5. A menor relação C/N, bem como os valores de CTC e CTC/C mais elevados, apontam também para a maior estabilização da matéria orgânica (maior grau de humificação) do composto com vinhaça (C5) em relação ao composto irrigado com água (C1).

Assim, os compostos C1 e C5, bem como, a torta de filtro maturada com vinhaça (TF), alcançaram, respectivamente, teores de 53,3 g kg⁻¹, 66,5 g kg⁻¹ e 74,7 g kg⁻¹ de NPK. A aplicação de 10 t/ha dos compostos C1, C5 ou torta de filtro TF (peso seco) a um determinado solo, respectivamente, resultará no acréscimo de, aproximadamente 533 kg, 665 kg e 747 kg de N, de P₂O₅ e de K₂O por hectare (Tabela 4).

Tabela 4. Teores de N, P₂O₅ e K₂O e quantidade de NPK levadas ao solo pela aplicação de 10 toneladas/ha (matéria seca) dos lotes de composto e torta de filtro maturada produzidos em larga escala no pátio de compostagem da Cooperativa Pindorama (fase de validação).

Fertilizante orgânico	N Total		P ₂ O ₅		K ₂ O		Soma (NPK)	
	g kg ⁻¹	kg em 10t	g kg ⁻¹	kg em 10t	g kg ⁻¹	kg em 10t	g kg ⁻¹	kg em 10t
C1	18,4	184	30,7	307	4,2	42	53,3	533
C5	19,8	198	42,4	424	4,3	43	66,5	665
TF	25,4	254	43,1	431	6,2	62	74,7	747

Como forma de se otimizar o uso do pátio de compostagem, uma ponderação válida, é que apesar de, normalmente, o composto ser usado depois de ter sido submetido às fases ativa e de cura da compostagem, em alguns casos, o composto é usado antes de atingir a maturidade completa, desde que as especificações e garantias legais

sejam atendidas. Na Tabela 5 são apresentadas estimativas de maturidade dos compostos aos noventa dias, e comparadas à qualidade alcançada após sua permanência por mais dois meses no pátio de compostagem. Tal estratégia permitiria a obtenção de quatro ciclos de compostagem ao ano.

Tabela 5. Indicadores de maturidade dos compostos aos 90 e 150 dias de processamento na fase experimental e de validação.

Fertilizante orgânico	Aos 90 dias						Aos 150 dias					
	pH em água ⁽¹⁾	C.O.	Ntot	C/N	CTC	CTC/C	pH em água ⁽¹⁾	C.O.	Ntot	C/N	CTC	CTC/C
C1	7,83	313,13	14,4	18,61	427,34	1,36	7,30	294,89	18,4	15,54	444,23	1,44
C5	7,29	301,09	19,0	17,61	493,66	1,64	6,79	267,04	20,2	14,71	513,56	1,78
TF	5,84	352,32	25,5	14,27	635,96	1,81	7,07	335,81	27,1	11,92	684,32	2,04
	Garantias mínimas exigidas pelo MAPA ⁽²⁾											
	6,00	150	5	20*	200 ⁽³⁾	-	-	-	-	-	-	-

C.O.: carbono orgânico (g kg⁻¹); Ntot: nitrogênio total (g kg⁻¹); C/N: relação carbono/nitrogênio; CTC: capacidade de troca catiônica (mmolc kg⁻¹); CTC/C: relação capacidade de troca catiônica por unidade de carbono (mmolc.g⁻¹ C). ⁽¹⁾Relação 10:1 (água: resíduos sólidos); ⁽²⁾ especificações de fertilizantes orgânicos compostos da Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Instrução, 2009). ⁽³⁾Especificações de condicionadores de solo da Instrução Normativa SDA nº 35, de 4 de julho de 2006 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Instrução, 2006). * Valor máximo.

A produção do composto é limitada pelo resíduo gerado em menor quantidade, que no caso, é a torta de filtro. Assim sendo, de acordo com o rendimento de processamento do composto C5, tem-se

o potencial de reciclar 100% da torta de filtro, 4,11% do bagaço de cana e cerca de 11% da vinhaça gerados anualmente pela agroindústria sucroalcooleira (Tabela 6).

Tabela 6. Rendimento do processamento de composto orgânico formulado com bagaço de cana-de-açúcar, torta de filtro, fosfato natural de Gafssa e irrigado com vinhaça (C5) a partir de leiras de 100 m lineares durante a fase de validação. Coruripe, AL, 2013/2014.

	Massa total inicial de uma leira de 100 m de comprimento (fase de montagem)			Massa total de uma leira de 100 m de comprimento após 160 dias de compostagem			Perda de massa seca (%)
	Massa úmida (kg)	Massa seca (kg)	Matéria seca (%)	Massa úmida (kg)	Massa seca (kg)	Matéria seca (%)	
Composto C5	103.527,8	45.035,98	43,51	28.926,3	20.577,3	71,16	54,3

Marcos legais

Por utilizar matérias-primas isentas de metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, os compostos produzidos, segundo a legislação vigente, são classificados como Classe A. No entanto, para fins de comercialização, os seguintes marcos legais deverão ser rigorosamente considerados:

- Instrução Normativa SDA nº 27, de 5 de junho de 2006 (Alterada pela IN SDA nº 7, de 12 de abril de 2016, republicada em 2 de maio de 2016) - estabelece concentrações máximas para agentes fitotóxicos, patogênicos, metais

pesados tóxicos, pragas e invasoras em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo (Anexo V); (Instrução..., 2016).

- Instrução Normativa SDA nº 35, de 4 de junho de 2006 - refere-se às normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos condicionadores de solo, destinados à agricultura; (Instrução..., 2006).

- Instrução Normativa Mapa nº 25, de 23 de julho de 2009 - refere-se às 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; (Instrução..., 2009).

- Instrução Normativa SDA nº 37, de 13 de outubro de 2017 - aprova os métodos oficiais para análise de fertilizantes e corretivos, oriundas dos programas e controles oficiais do MAPA, constantes do Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos (ISBN 978-85-7991-109-5). (Instrução..., 2017).

- Resolução Conama 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, visando à proteção do meio ambiente. (Brasil, 2017).

Considerações finais

Diante da disponibilidade das matérias primas no âmbito da agroindústria, a capacidade de cada unidade geradora em aprimorar seus processos logísticos visando maximizar produções econômicas, aumentará a rentabilidade da tecnologia. Por outro lado, a tomada de decisão quanto à destinação do composto produzido para uso próprio ou comercialização também deverá considerar a proximidade de mercados consumidores de fertilizantes orgânicos.

Assim sendo, por mostrar-se eficiente em reciclar cinco litros de vinhaça por quilo de massa seca de resíduos sólidos da mistura a ser compostada,

produzindo um insumo de alto valor agrônomo, isento do potencial poluidor original, com maior estabilidade e reatividade que o composto onde se utilizou água, recomenda-se a compostagem como estratégia de reciclagem da vinhaça resultante da agroindústria sucroalcooleira.

Agradecimentos

À Cooperativa de Colonização Agropecuária e Industrial Pindorama pela parceria em todos esses anos de estudo, ao Instituto de Química e Biotecnologia da Universidade Federal de Alagoas, na pessoa do Prof. Antônio Euzébio Goulart Sant'Ana, pela disponibilidade dos equipamentos espectroscópicos que deram suporte à caracterização das substâncias húmicas dos compostos, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (Fapeal) e ao Banco do Nordeste do Brasil (BNB), pelo apoio financeiro.

Referências

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 481, de 03 de outubro de 2017. Estabelece critérios de procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos e dá outras providências. **Diário oficial da União**, ed. 194, p. 93, 9 out. 2017. Seção 1. Disponível em: <http://imprensa.nacional.gov.br/material/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/>

content/id/19344546/doi-10-09-resolucao-n-481-de-3-de-outubro-de-2017-19344458>. Acesso em: 15 out. 2018.

GOMES, T. C. de A. **Reciclagem de vinhaça por meio do processo da compostagem**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 40 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de Pesquisa, 74). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/122981/1/Reciclagem-de-vinhaca-BP-74.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2018.

GOMES, T. C. de A. **Resíduos orgânicos no processo de compostagem e sua influência sobre a matéria orgânica do solo em cultivo de cana-de-açúcar**. 2011. 118 f. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011. Disponível em: <http://ww3.pgs.ufrpe.br/sites/ww3.pgs.ufrpe.br/files/documentos/tamara_claudia_de_araujo_gomes_0.pdf>. Acesso em: 15 out. 2018.

INSTRUÇÃO NORMATIVA MAPA, nº 25, de 23 de julho de 2009. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 173, 28 jul. 2009. Seção 1. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-25-de-23-7-2009-fertilizantes-organicos.pdf/view>>. Acesso em: 15 out. 2018.

INSTRUÇÃO NORMATIVA SDA nº 27, de 5 de junho de 2006 (alterada pela IN SDA nº 7, de 12/04/2016, republicada em 02/05/2016). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Seção 1. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-sda-27-de-05-06-2006-alterada-pela-in-sda-07-de-12-4-16-republicada-em-2-5-16.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2018.

INSTRUÇÃO NORMATIVA SDA, nº 35, de 4 de julho de 2006. **Diário Oficial da União**, n. 132,

12 jul. 2006. Seção 1. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-35-de-4-7-2006-corretivos.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2018.

INSTRUÇÃO NORMATIVA SDA, nº 37, de 13 de outubro de 2017. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 199, 17 out. 2017. Seção 1. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/laboratorios/legislacoes-e-metodos/fertilizantes-substratos/DOUINSDA37de1310172apgina.pdf/view>>. Acesso em: 15 out. 2018.

RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C. Avaliação de materiais orgânicos empregados como fertilizantes. **Scientia Agricola**, v. 51, n. 3, p. 556-562, 1994.

Unidade responsável pelo
conteúdo e edição:

Embrapa Tabuleiros Costeiros

Av. Beira Mar, nº 3.250, Bairro Jardins,
CEP: 49025-040, Aracaju, SE
Fone: +55 (79) 4009-1300
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição

Publicação digitalizada (2018)

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente

Ronaldo Souza Resende

Secretário-Executivo

Marcus Aurélio Soares Cruz

Membros

*Amaury da Silva dos Santos, Ana da Silva
Lédo, Anderson Carlos Marafon, Joézio Luiz
dos Anjos, Julio Roberto Araújo de Amorim,
Lizz Kezzy de Moraes, Luciana Marques de
Carvalho, Tânia Valeska Medeiros Dantas,
Viviane Talamini*

Supervisão editorial

Flaviana Barbosa Sales

Normalização bibliográfica

Josete Cunha Melo

Projeto gráfico da coleção

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica

Aline Gonçalves Moura

Foto da capa

Tâmara Cláudia de Araújo Gomes

Embrapa

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

